

연구보고서

전자산업 안전보건 가이드 개발

박동욱·고동희·김승원·김형렬·류현철·박주현·
윤충식·이경희·장희·정은교·최상준·하권철

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “전자산업 안전보건 가이드 개발”의 최종
보고서로 제출합니다.

2023년 11월

연구진

연구기관 : 한국방송통신대학교 산학협력단

연구책임자 : 박동욱 (교수, 한국방송통신대학교)

연구원 : 고동희 (교수, 가톨릭관동대학교 국제성모병원)

연구원 : 김승원 (교수, 계명대학교)

연구원 : 김형렬 (교수, 가톨릭대 서울성모병원)

연구원 : 류현철 (센터장, 일환경건강센터)

연구원 : 박주현 (교수, 동국대학교)

연구원 : 윤충식 (교수, 서울대학교)

연구원 : 이경희 (Lead Industrial Hygienist, 주한미군)

연구원 : 장 희 (본부장, 한국안전문화진흥원)

연구원 : 정은교 (교수, 오산대학교)

연구원 : 최상준 (교수, 가톨릭대학교)

연구원 : 하권철 (교수, 창원대학교)

연구원 : 손정순 연구위원(사회노동정책연구소)

요약문

- 연구기간 2023년 04월 ~ 2023년 11월
- 핵심단어 전자산업, 반도체산업, 디스플레이, OLED, 정비, 세정, 연마블라스트팅
- 연구과제명 전자산업 안전보건 가이드 개발

1. 연구배경

- 전자산업에서 안전보건 위험이 수반될 수 있는 위험한 정비와 세정 작업에 원청 기업 공장 내부와 외부의 협력 업체가 관련된다. 원청회사 안에서 상주하는 협력 업체는 주로 원청회사에 설치된(고정된) 설비 정비, 공정 정비, 세정 업무 등을 담당한다.
- 원청회사 밖에 별도의 공장이 있는 사외 협력 업체는 원청에서 예방정비와 세정을 수행한 각종 금속 장비, 기계, 부품 등을 원청회사 밖에서 추가로 세정하여 다시 원청으로 공급하는 작업을 한다. 이처럼 큰 규모의 전자산업 기업에서는 일반적으로 사내 예방정비, 간단한 세정 등 작업과 사외 추가 세정 작업이 분리되어 있다. 기업의 규모와 경영에 따라 정비, 세정 등 하청하는 특성은 다르다.
- 원청회사, 협력 업체, 정부 기관, 산업보건 기관들 등 이해당사자 간에 근로자 안전보건 관리를 위한 책임/협력/감시 등이 체계적으로 이루어지는 거버넌스를 고민하는 것이 필요하다. 원청 사업장은 [산업안전보건법 제 29조]에 의해 작업장 내에 상주하는 하도급(협력) 업체들에 대한 안전보건 관리 책임이 있지만, 원청 작업공간에 상주하지 않는 외부 협력 업체들에 대해 원청의 직접적인 법적 책임과 역할 등의 구분이 명확하지 않다.

- 2021년부터 정부(안전보건공단)는 반도체, LCD, OLED 산업 등 전자산업에서 정비 작업 등 위험직무로부터 근로자를 보호하기 위한 조사 및 연구 사업을 진행하고 있다. 원청 또는 협력업체가 수행하는 상대적으로 사고 및 질병 위험이 높은 정비 작업을 대상으로 안전보건 가이드 개발하고 보급하는 정책을 펼치고 있다.

2. 주요 연구내용

1) 연구목적

- 본 연구의 궁극적 목표는 반도체, LCD, OLED 제조공정 등 전자산업에서 유해·위험 작업 6가지에 대한 안전보건 가이드를 개발하는 것이다. 각종 공정 설비 정비와 세정 작업 중 상대적으로 안전보건 위험이 크고 개발 필요성이 높은 작업을 우선으로 안전보건 가이드를 개발한다.
- 궁극적 목표를 달성하기 위한 구체적 목적은 아래와 같다.
 첫째, 반도체, LCD, OLED 제조공정의 운전과 정비 작업에서 발생하는 유해·위험 요인에 대한 근로자의 노출 특성을 문헌 고찰을 통해서 종합한다. 여기에는 주요 유해·위험 요인에 대한 위험성 평가 결과도 포함한다.
 둘째, 우리나라 반도체, LCD, OLED 제조공정의 주요 산업별, 기업별, 정비 작업별 하청 현황 등을 파악한다. 이 연구 결과는 하청 작업의 안전보건 위험을 관리하기 위한 안전보건 가이드 개발에 활용한다.
 셋째, 반도체, LCD, OLED 제조 초점 기업 5개(삼성전자, SK하이닉스, LG디스플레이, 삼성디스플레이, DB하이텍, 이하 초점 기업 또는 원청이라 함)에서 과거 3년 동안(2019~2021년) 작성된 작업환경측정 자료를 분석해서 공정, 정비 작업 등의 측정 결과의 분포를 비교한다. 기업 내, 기업 간, 업종별, 시기별, 공정별, 정비 작업별, 노출 결과별 측정 빈도와 결과를 통합해서 분석하여 유해 인자 노출을 평가하고 관리하기 위한 안전보건 가이드 개발에 활용한다.

넷째, 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업에서 과거 10년 동안 발생한 산업재해 보상 자료를 통해 시기별, 산업별 산업재해 발생 경향 분석과 함께 중대 재해 사례를 분석한다. 공정별 정비 직무에서 발생한 화학물질 누출, 화재, 질식, 추락, 급성중독 등의 재해 사례와 정비 직무에서 발생한 사고 및 질병 사례의 직무 특성을 연구하여, 본 연구의 정비 직무 안전보건 가이드 대상 공정 설비 작업을 선정하고 해당 안전보건 가이드 내용을 구성하는 데 활용한다.

다섯째, 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업의 안전보건 위험을 관리하기 위한 해외의 법적 규정, 권고, 활동 등을 고찰한다. 반도체 등 전자산업 기업과 비중이 상대적으로 높은 것으로 판단한 미국, 일본, 대만의 관리 현황을 고찰한다.

마지막으로 안전보건 가이드 개발 대상을 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 운전과 정비 직무에서 선정하고 이 특성에 맞는 가이드 내용을 구성한다. 안전보건 가이드 개발 대상은 위험성 평가 결과, 기업의 요구, 활용 확장 가능성 등을 고려하여 선정한다. 배경, 내용 구성은 본 연구의 구체적 조사 내용을 활용한다. 안전보건 가이드 개발 필요성, 활용성 등은 원청과 하청 기업 공정 전문가, 반올림 등 시민단체, 그리고 학계 등 산업안전 및 산업보건 전문가의 평가를 받았다.

2) 연구 방법

- 본 연구의 6가지 주요 내용(반도체, LCD, OLED 공정에서 유해인자 발생 특성 고찰, 해외 반도체/LCD, OLED 공정에서 근로자를 보호하기 위한 법적 규정 또는 가이드 라인 등 고찰, 반도체, LCD, OLED 공정에서 일어난 산업재해통계분석, 반도체, LCD, OLED 산업 원청과 하청 현황과 거버넌스 파악, 안전보건 가이드 개발 필요성 평가와 활용 등)을 국내외 문헌 고찰과 국내외 전문가 토론과 자문을 통해서 본 연구에서 주요 연구 내용을 정리했다.

- 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 정비, 설비 정비 작업 안전 보건 가이드 개발

(1) 개발 대상 안전보건가이드 결정

- 본 연구에서 개발하고자 하는 안전보건가이드 대상은 반도체, LCD, OLED 제조 공정 설비 정비 작업으로 제한했다. 또한 공정에서 사용된 기계, 장비, 부품 등을 정비하고 추가로 세정 공정 작업까지 포함했다. 아래와 같은 4가지 요소에 대한 임의적 판단에 따라 안전보건가이드 개발 대상 공정을 결정했다.
 - 안전보건 위험성 평가
 - 조사 대상 기업의 요구
 - 전자산업 등 유사 공정 활용 범위
 - 현장 조사 및 연구 접근 가능성 등

(2) 안전보건가이드 내용 구성

- 사고 및 질병 위험을 초래할 수 있는 유해위험요인과 이들 요인을 관리하고 피할 수 있는 작업 방법을 작업 전, 작업 중, 작업 후로 구분하여 잘 드러나도록 기술했다. 구체적인 작성 원칙은 근로자는 물론 기업 안전보건관리자가 쉽게 이해할 수 있도록 간결하고 쉽게 기술했고, 안전한 작업 내용이 분명히 드러나도록 했다.
- 교육용/보관용/게시용 등으로 단계적 용도에 따라 구분해서 개발하였다. 안전보건가이드 원본은 문서용, 교육용, 추가 근거용으로 모든 내용이 들어가도록 하였다. 현장 게시용은 핵심 내용과 체크리스트를 요약해서 작업자가 위험을 직접 이해하고 관리할 수 있도록 하였다.

(3) 안전보건 가이드 개발 과정

- 본 연구에서 안전보건가이드는 크게 4단계를 거쳐서 개발했다. 첫째, 연구진은 문헌, 연구 경험, 자문, 위험성 평가를 통해서 안전보건가이드 개발 대상 공정과 작업을 결정했다. 둘째, 연구진은 안전보건가이드 대상

공정 설비 작업을 대상으로 안전보건가이드 초안을 개발했다. 이 과정에서 안전보건전문가의 충분한 자문을 거친다. 셋째, 연구진이 개발한 안전보건가이드 초안을 초점기업의 공정 설비 정비자나 이에 준하는 기업 전문가와 인터뷰를 통해 추가 보완했다. 마지막으로 안전보건가이드 대상 공정과 작업 현장을 방문하여 현장의 내용을 최종 보완하고 실행 가능성을 판단해서 안전보건가이드를 완성했다.

(4) 작업 가이드 영상 1종 시범 제작

- 연구진이 개발한 6종의 안전보건가이드 중 1종을 ‘연마 블라스팅’을 요약해서 영상으로 제작하였다. 영상 전문가의 자문을 통해 분량, 내용 등을 결정했다. 사업장에서 온라인으로 안전한 작업 작업요령을 배울 수 있도록 쉽고 간결하게 제작했다.
- 영상에 포함할 주요 내용은 작업 가이드 목표, 건강 위험 및 안전사고 위험 요소, 주요 건강위험 및 안전사고 사례, 안전한 작업 조건 등이다. 분량은 10분 전후로 결정했다.

3) 연구결과

(1) 반도체 등 전자산업 주요 공정별 안전보건실태 조사 및 유해인자 파악

가) 반도체와 OLED 등 제조 공정 유해위험인자

- 반도체와 OLED 디스플레이 제조 공정은 기판(웨이퍼, PI·유리) 차이뿐 포토, 식각, 증착 등과 같은 유사한 첨단 공정으로 구성된다.
- 반도체 및 OLED 제조공정에서 독성이 있는 화학물질(부산물 포함)은 100여종, 반응성이 높은 가스도 40여 종 사용한 것으로 파악했다. 또한 공정 부산물로 벤젠, 비소 등 발암성 물이 발생할 수 있고 이 공정 설비 정비 작업에서 노출 가능성이 있는 것으로 고찰하였다.
- 감광액, 박리액 등은 대부분 인화성 물질로 공정 중 장비 과열 및 누설, 취급 부주의로 화재 위험성 또는 수소, 실란 등 특수가스 사용으로 폭발

위험성 상존한다. PR 코팅장비 및 이온임플란터 등은 고전압 전기부품 또는 고전압 전기시스템이 장착된 설비로 감전 또는 감전 위험이 있다. 반도체 이온주입공정의 임플란터 및 OLED 공정의 정전기 제거용 이온 나이저 사용으로 전리방사선(엑스선)의 노출 위험이 있다.

나) 반도체와 OLED 제조 공정 설비 정비 작업의 안전보건 유해·위험인자

- 안전위험요소는 화재·폭발, 감전, 추락, 질식, 기계접촉, 화학물질 누출 등 6개 항목과 건강유해인자로는 화학물질 노출, CMR물질, 엑스선, 극저주파 등 전자파, 온열(고열) 등 5개 항목으로 발생 확률(probability) 및 사고의 심각성(severity)에 대해 안전보건 유해·위험을 평가하였다.
- 반도체 및 OLED 디스플레이 공정별 정비직무별 종합적 유해·위험 평가 결과, 총괄 위험 수준은 핵심공정인 증착 및 이온주입, 포토, 식각 공정 등이 높은 것으로 나타난다. 이들 공정을 중심으로 공정별 안전보건 가이드 개발의 우선순위 결정하였다.

(2) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 정비작업 협력관계 현황 등 생태계 조사

- 고용행정통계에 따르면 반도체제조업은 1,356개 사업체에서 100,015명이 종사하고 있으며, 디스플레이가 속한 전자부품제조업은 총 8,600개 사업체에서 141,606명이 종사하고 있다(2023년 5월 기준).
- 작업환경실태조사 결과를 살펴보면 업종 코드별 응답 사업장 수는 26(6,469개소), 261(498개소), 262(3,505개소)였으며, 전자산업인 261/262(4,003개소 응답) 중 원청이라고 응답한 업체는 14개 업체로 조사되었으며, 하청이라고 표시한 업체는 16개 업체인 것으로 파악된다.
- 안전보건공단 주관 초점 기업과의 회의에서 파악된 사내 하청 기업만 최소 150개 이상이나 통계에 나타난 결과는 매우 낮게 나타나(5인 미만 사업장이 조사 대상에서 누락되었거나, 해당 업종으로 등록이 안 되어 있을 가능성이 있는 등), 국가 승인 통계인 작업환경실태조사로 원하청 관계를 파악하는 것은 한계점이 분명하였다.

(3) 반도체, LCD, OLED 제조 공정 작업환경측정 결과 자료 분석 및 쟁점

- 반도체 및 디스플레이 초점 기업 5개소의 과거 3년간(2019-2022년) 작업환경측정결과 총 161개 유해인자에 대해 158,318개였으며, 검출률은 26.55%였다. 사업장별 검출률이 가장 낮은 곳은 B(9.6%)였고, 가장 검출률이 높은 곳은 D(48.2%)였다.
- 가장 많은 측정이 실시된 물질은 ‘불화수소’였으나, 거의 대부분 불검출이었고, 검출률이 가장 높은 유해인자는 오존이었다. 3년간 총 측정건수 중 검출된 자료만 분석했을 때, 오존>암모니아>이소프로필 알콜>기타광물성분진 등의 순서로 확인되었다.
- 작업측정자료의 부서명, 공정명, 단위작업장소 정보에서 하청업체명, 협력사 등 공정, 하청 여부를 추정할 수 있는 기업은 두 곳이었다. 같은 반도체, 디스플레이 제조 공정이지만 공정별, 작업별, 기간별 등 기업 간 비교는 불가능하였다. 공정과 작업 특성이 있는 측정 결과여도 연도별, 기간별 비교는 어려웠다.
- 작업환경측정자료의 ‘부서’, ‘공정’의 입력 정보는 5개 사업장 대부분 표준화된 정보를 활용하고 있지 않아 유사 부서 혹은 공정별 노출 특성을 분석하기가 어려웠다. 특히 사업장 C는 ‘부서’ 정보가 모두 미입력되어 있고, 사업장 A도 대부분 미입력되었다.

(4) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 산업재해 통계 자료 분석 및 쟁점

- 과거 10년 동안(2013-2022년) 반도체, 디스플레이 등 전자산업이 포함된 제조업(n=285,243건)과 서비스업(n=364,883건) 산업재해보상자료를 분석하였다.
- 반도체, 디스플레이 제조 공정 정비업무 산업재해보상자료 특성을 분석하였다. 반도체, 디스플레이 정비 자료 추출을 위해 키워드 사용하였다. 기업, 업종, 공정 등의 주요어로 추출하였다. 총 1,402건이 추출되었으며, 전문가 평가를 거쳐 최종 194건을 선별하여 보다 정확한 원인, 질

병, 사고 등을 분석하기 위해 근로복지공단에 산재신청자료를 분석했지만 주요 원인 등을 파악할 수 없었다.

- 반도체, 디스플레이 제조 초점 기업 5개소의 공정 설비 등 정비업무 중 산업재해보상자료 특성을 분석하기 위해서 자료를 추출하였다. 반도체 3개소, 디스플레이 2개소를 대상으로 697건 산업재해자료 추출 및 분석하여 아래와 같은 주요 특성을 확인하였다.
 - 2013년에 108건으로 가장 많았고, 이후 연 40~90건 사이 승인
 - 남성이 420명 (60%), 여성 277명 (40%)보다 많았음.
 - 연령은 30대가 50%, 20대가 28% 였음.
 - 사망자는 46명 (6.6%) 이며, 이중 질병 사망자가 40명이었음.
 - 발생형태는 체육행사 154건 (22%), 넘어짐 145건 (21%) 이었으며, 직업병, 화학물질접촉은 81건 (12 %) 이었음.
 - 직업병 128건 중 직업성 암이 64건(50%)으로 가장 많았음.
 - 상병명 분석결과 손상 521건 (S코드 75%), 암 60건 (S코드 9%), 화상, 중독 등 18건 (T코드 3%), 뇌심혈관계질환 11건 (I코드 2%), 신경계질환 8건 (G코드 1%) 순이었음.

(5) 반도체, LCD, OLED 등 전자산업 유해·위험 요인 관리 법적 규제 및 권고내용 고찰

- 미국 산업안전보건청(OSHA)의 연방법은 반도체 제조 공정에만 적용되는 특별조항을 가지고 있지 않으며 제조업을 포함한 일반 사업장(general industry)에 적용되는 법규(Title 29 of the Code of Federal Regulations, Part 1910)를 반도체 공정에도 적용하고 있다. 미국의 주 계획(State Plan) 중에도 반도체 공정 관련 별도의 안전보건 관리 규정을 가지고 있는 주는 없는 것으로 조사되었다. 대신, 미국은 SEMI(Semiconductor Equipment and Materials International, 국제 반도체 장비 및 재료 협회)와 미국소방안전협회(National Fire Protection

Association, NFPA)의 표준들을 국가공인표준(National Consensus Standard)으로 인정하고 있다.

- 대만 산업안전보건청(OSHA Taiwan)은 반도체산업에 별도 적용되는 안전보건 관련 규정을 제정한 적이 없다. 대만 반도체산업협회(TSIA)도 대만의 반도체 산업체들이 경쟁력을 유지할 수 있도록 돕는 것을 목표로 하고 있지만, 반도체 공정에 적용할 수 있는 산업안전 및 보건에 대한 자체 지침을 개발한 적이 없다.
- 일본 후생노동성은 반도체 제조 공정에 적용하는 “반도체 제조 공정의 안전보건 대책 지침(半導体製造工程における安全衛生対策指針について)을 1988년 개발했다. 이 지침은 행정 내부 명령인 통달로 하달되었으며, 법적 의미로서의 구속력을 주지는 못 하나 통념상 기업이 모두 준수해야 하는 룰이다. 지침은 반도체 공정, 시설, 부품, 재료가 갖고 있는 위험을 전반적으로 관리하기 위한 내용을 포함하고 있다. 특정 공정(CVD, 증착 등)에 대한 안전보건사항들이 있지만 공정 설비의 정비 직무 절차 등 구체적인 안전보건사항이 들어 있는 것은 아니다.

(6) 전자산업 공정 설비 정비 작업 안전보건가이드

- 전자산업 공정 설비 관련 정비 등 작업 6종에 대한 안전 보건 가이드를 개발했다.
 - 전자산업 증착 공정 설비 정비 작업
 - 전자산업 공정 설비 정비 작업
 - 전자산업 일반 세정 작업
 - 전자산업 이온주입 공정 설비 정비 작업
 - 전자산업 식각공정 설비 정비 작업
 - 전자산업 연마블라스팅 세정작업
- 본 요약문에서는 전자산업 공정 설비 정비 작업 안전보건가이드 요약문을 사례로 나타냈다. 다른 5종의 안전보건가이드도 유사한 구성과 항목 등 표준으로 개발했다. 요약 및 전문은 부록과 별책으로 나타냈다.

〈전자산업 공정 설비 정비 작업 안전보건 가이드- 요약〉

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 잠그고(lock out), 표시(tag out)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.
- 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 적정한 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 때는 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	해당없음
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 방독마스크 등 정비 작업에 적절한 개인보호장비를 착용했는가?			
밀폐공간을 지속적으로 퍼지해서 열, 먼지, 흙, 유해가스를 제거하고, 주기적으로 농도를 측정하고 있는가?			

점검 항목	예	아니오	해당없음
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.			

(7) 영상 안전보건가이드: 연마 블라스팅(abrasive blasting)

전자산업에서 사용한 장비, 기계, 부품 등을 연마 블라스팅하는 작업에 대한 안전보건가이드를 10분 내 영상으로 제작했다. 블라스팅 작업 장면을 현장에서 촬영하고 삽화, 그림 등으로 생동감 있게 영상으로 안전보건가이드 내용을 담았다. 주요 내용은 다음과 같다.

- 연마 블라스팅 작업의 위험과 관리 방법
- 연마 블라스팅 작업자의 보호구 착용
- 송기 마스크 안전한 착용과 관리 방법 등

(8) 안전보건 가이드개발 필요성 평가

원청, 하청 기업(협력기관)이 각각 38명과 13명, 학계 및 산업보건전문기관 28명, 시민단체(반올림)도 13명 등을 대상으로 본 연구에서 개발한 안전보건 가이드 개발 필요성과 활용성에 대한 평가를 요청했다. 전문가들 90 % 이상이 안전보건 가이드 개발이 "필요하다(24.5 %)". "매우 필요하다(72.3 %)"라고 응답했다. 또한 안전보건가이드 구성의 적정성과 활용성 등에서도 90 % 이상 높게 응답했다.

3. 연구 활용방안

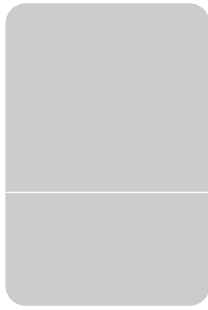
- KOSHA 안전보건 guide 지침으로 활용
- 반도체, 디스플레이 등 전자산업 원청, 하청 기업 안전보건가이드 또는 지침으로 활용
- 전자산업 공정 설비 및 공정지원 설비 정비에 대한 안전보건가이드 개발은 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단
- 반도체, 디스플레이 등 전자산업 안전보건 가이드 국제표준 개발

4. 연락처

- 연구책임자 : 한국방송통신대학교, 교수 박동욱
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 직업환경연구실 부장 정광재
 - ☎ 052) 703. 0890
 - E-mail : kjchung@kosha.net

목 차

I. 서 론	1
1. 연구 배경	3
2. 연구 목적	9
II. 연구 내용 및 방법	13
1. 문헌 고찰을 통한 연구 범위 설정	15
2. 연구 방법	40
3. 연구 자료 확보 및 연구 윤리(IRB) 승인	59
III. 연구결과	61
1. 반도체, LCD, OLED 제조 공정 원리와 주요 유해·위험 요인 고찰	63



목 차

2. 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 원하청 현황	151
3. 반도체, LCD, OLED 제조 공정 작업환경측정 결과 자료 분석 및 쟁점	184
4. 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 산업재해 보상 통계 자료 분석 및 쟁점	229
5. 미국, 일본, 대만 반도체 등 전자산업 유해위험요인 관리 법적 규정 및 권고사항 고찰 및 쟁점	252
6. 안전보건가이드 개발 배경 및 전문	292
7. 안전보건 영상 가이드 개발:전자산업 공정 사용 부품 등 연마 블라스팅	352
8. 안전보건 가이드개발 필요성 평가	359

IV. 안전보건 가이드 활용방안 및 추가개발 대상 제안	379
1. 안전보건 가이드 활용방안	381
2. 안전보건 가이드 추가 개발 대상 제안	383
V. 결론	387
참고문헌	391
Abstract	398
부록	402

표 목차

〈표 II-1〉 국내 반도체와 LCD 제조공정을 대상으로 유해·위험 요인 발생이나 노출을 보고한 논문	17
〈표 II-2〉 안전보건공단에서 개발한 정비 작업 가이드와 관련된 문헌 현황 및 한계점	39
〈표 II-3〉 반도체, LCD, OLED 제조공정 작업별 안전 및 건강 유해 요인(hazard) 노출 확률(probability) 사례	43
〈표 II-4〉 반도체, LCD, OLED 제조공정 작업별 안전 및 건강 유해 요인 노출로 인한 손상의 심각성(severity)	45
〈표 II-5〉 반도체, LCD, OLED 제조공정 작업별 건강 유해 요인 노출로 생길 수 있는 질병의 심각성(severity)	46
〈표 II-6〉 통계자료 설명	48
〈표 II-7〉 한국표준산업분류 상 전자산업의 분류와 범위	49
〈표 II-8〉 통계 자료 설명	51
〈표 III-1〉 반도체 산업에 사용되는 가스(Gas)의 특징	90
〈표 III-2〉 OLED 및 LCD 디스플레이의 주요 특징 비교	91
〈표 III-3〉 TFT의 종류	93
〈표 III-4〉 반도체/LCD/OLED 공정 직무별 안전 및 건강위해요인(hazard) 노출 발생 확률(probability)	134
〈표 III-5〉 반도체/LCD/OLED 공정 직무별 안전 위해요인 노출로 인한 사고로 인한 심각성(severity)	135

〈표 Ⅲ-6〉 반도체/LCD/OLED 공정 직무별 질병 위해요인 노출로 생길 수 있는 질병의 심각성(severity)	137
〈표 Ⅲ-7〉 전자산업(반도체/OLED/LCD)의 공정별 화학물질 취급 현황(부산물 포함)	140
〈표 Ⅲ-8〉 전자산업 공정 직무별 안전보건 위험 평가에서 안전사고와 건강 유해인자 노출 발생 확률(probability)	143
〈표 Ⅲ-9〉 전자산업 공정 직무별 안전 및 건강 영향 사고의 심각성(severity)	143
〈표 Ⅲ-10〉 반도체 공정별 정비직무별 종합적 유해·위험 평가 (general risk assessment) 결과	144
〈표 Ⅲ-11〉 OLED 디스플레이 공정별 정비직무별 종합적 유해· 위험 평가 결과	146
〈표 Ⅲ-12〉 LCD 디스플레이 공정별 정비직무별 종합적 유해· 위험 평가 결과	148
〈표 Ⅲ-13〉 규모별 사업체 수 추이	153
〈표 Ⅲ-14〉 규모별-소분류 산업별 사업체 수(2021년)	154
〈표 Ⅲ-15〉 광업·제조업 조사 참여 사업체 및 임가공 사업체 현황	158
〈표 Ⅲ-16〉 임가공 수입 금액 평균 및 매출액 대비 비율 평균	160
〈표 Ⅲ-17〉 임가공 사업체의 매출액 대비 임가공 수입액 비율	162
〈표 Ⅲ-18〉 광업·제조업 조사 참여 사업체 및 외주가공 사업체 현황	164
〈표 Ⅲ-19〉 외주가공 사업체 현황	165

표 목차

〈표 Ⅲ-20〉 외주가공비 금액 평균 및 생산비 대비 비율 평균	166
〈표 Ⅲ-21〉 소분류 산업별 고용 추이	170
〈표 Ⅲ-22〉 직업대분류별 고용 추이	171
〈표 Ⅲ-23〉 중분류 직업별 고용규모 상위 10개 직종	172
〈표 Ⅲ-24〉 중분류 상위 3개 직종의 성, 연령별 변화	173
〈표 Ⅲ-25〉 규모별-종사상 지위별 고용(2022년 상반기)	175
〈표 Ⅲ-26〉 세부 변수별-규모별 고용(2022년 상반기)	176
〈표 Ⅲ-27〉 규모별-산업별 고용(2022년 상반기)	178
〈표 Ⅲ-28〉 지역별 전자산업 고용	179
〈표 Ⅲ-29〉 수위탁 거래 여부에 따른 설문 조사 결과	181
〈표 Ⅲ-30〉 작업환경측정 결과 분석 대상 사업장별 특징	184
〈표 Ⅲ-31〉 사업장별 연도별 측정건수	185
〈표 Ⅲ-32〉 사업장별 연도별 노출수준	187
〈표 Ⅲ-33〉 사업장별 검출/불검출 건수	188
〈표 Ⅲ-34〉 산업별 연도별 검출률	190
〈표 Ⅲ-35〉 2020-2022년 유해인자별 검출률	191
〈표 Ⅲ-36〉 측정건수가 많은 상위 15개 항목	197
〈표 Ⅲ-37〉 상위 15개 측정항목별 노출수준별 측정건수	199
〈표 Ⅲ-38〉 사업장별 검출 유해인자 측정건수	202
〈표 Ⅲ-39〉 사업장별 불검출 유해인자 측정건수	204
〈표 Ⅲ-40〉 시료종류별 사업장별 검출 및 불검출 측정건수	206

〈표 III-41〉 원청 및 하청별 검출 및 불검출 측정건수	207
〈표 III-42〉 사업장 A 및 C의 부서별 측정건수	209
〈표 III-43〉 사업장 B의 부서별 측정건수	211
〈표 III-44〉 사업장 B의 하청업체 측정건수	213
〈표 III-45〉 사업장 D의 부서별 측정건수	215
〈표 III-46〉 사업장 D의 하청업체 부서별 측정건수	217
〈표 III-47〉 사업장 E의 부서별 측정건수	219
〈표 III-48〉 사업장 A 및 C의 공정별 측정건수	221
〈표 III-49〉 사업장 B의 공정별 측정건수	223
〈표 III-50〉 사업장 D의 공정별 측정건수	225
〈표 III-51〉 사업장 E의 공정별 측정건수	228
〈표 III-52〉 근로복지공단 업종분류 ‘전자관 또는 반도체소자제조업’에 속한 사업장의 표준산업분류	231
〈표 III-53〉 분석대상 사업장의 연도별 산업재해 건수	232
〈표 III-54〉 표준산업분류에 따른 반도체, 디스플레이 산업의 코드	233
〈표 III-55〉 분석 대상자의 성, 연령 분포	234
〈표 III-56〉 분석 대상자의 표준산업분류 분포	235
〈표 III-57〉 분석 대상자의 표준직업분류 분포	235
〈표 III-58〉 재해자 구분	236
〈표 III-59〉 재해 발생 형태	237
〈표 III-60〉 직업병 분류	238

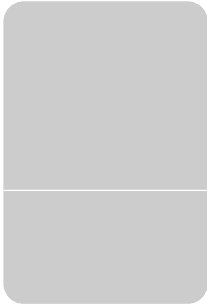


표 목차

〈표 Ⅲ-61〉 산재 기인물 분류	239
〈표 Ⅲ-62〉 산재 상병명 분포	243
〈표 Ⅲ-63〉 안전보건가이드 개발 대상 작업과 활용범위	292

그림목차

[그림 Ⅰ-1] 전자산업 원청과 그 주변 거버넌스/환경/협력 업체의 관계 (원청용 등, 2020)	6
[그림 Ⅰ-2] 주요 연구 내용과 연구 목표 연계(LCD, Liquid Crystal Display; OLED, Organic Light Emitting Diodes)	11
[그림 Ⅱ-1] 반도체 제조공정에서의 화학물질 공급 체계	27
[그림 Ⅱ-2] 일반적 반도체 공정의 유해가스 배관과 처리(스크러버) 시스템 ...	29
[그림 Ⅱ-3] 일반 위험성평가(GRA)와 구체적 위험성평가(SRA) 모형	42
[그림 Ⅱ-4] 안전보건 가이드 개발 대상 공정 설비별 정비 작업 선정 과정 ...	47
[그림 Ⅱ-5] 안전보건 가이드 순서와 주요 항목	57
[그림 Ⅲ-1] 반도체 제조의 8대 공정도	64
[그림 Ⅲ-2] 반도체 웨이퍼 제조공정	65
[그림 Ⅲ-3] 반도체 웨이퍼 명칭 및 집적회로	66
[그림 Ⅲ-4] 반도체 웨이퍼 산화공정	68
[그림 Ⅲ-5] 산화막 형성	69
[그림 Ⅲ-6] 산화막이 형성된 웨이퍼에 감광액 도포	72
[그림 Ⅲ-7] 빛을 통해 웨이퍼에 회로를 그려넣는 노광	73
[그림 Ⅲ-8] 회로패턴을 형성하는 현상공정	74
[그림 Ⅲ-9] 식각공정(Etching)	77
[그림 Ⅲ-10] 증착공정(Deposition)	79
[그림 Ⅲ-11] 이온 임플란터 입체도면	81
[그림 Ⅲ-12] 금속배선 공정	84

그림목차

[그림 Ⅲ-13] EDS 검사공정에서의 수율	87
[그림 Ⅲ-14] 패키징(Packaging)	88
[그림 Ⅲ-15] 강성 및 연성 OLED 디스플레이의 제조공정 구조	94
[그림 Ⅲ-16] AMOLED 디스플레이의 백플레인 구조	96
[그림 Ⅲ-17] FMM을 이용한 OLED 화소 형성 공정 흐름도	100
[그림 Ⅲ-18] 봉지 공정 흐름도	102
[그림 Ⅲ-19] LCD 패널과 편광판	119
[그림 Ⅲ-20] 안전보건가이드 개발 대상 공정별 정비직무 선정 과정	136
[그림 Ⅲ-21] 안전보건가이드 개발 대상공정 정비직무 대상 구체적 위험 평가 템플릿 선정 과정	138
[그림 Ⅲ-22] 전자산업 사업체 수 추이	152
[그림 Ⅲ-23] 전자산업 소분류 산업별 사업체 현황	152
[그림 Ⅲ-24] 전자산업 임가공 수입 및 외주가공비 추이	156
[그림 Ⅲ-25] 전체 생산비 대비 외주가공비 비율	156
[그림 Ⅲ-26] 전체 생산액 대비 임가공 수입액 비율	157
[그림 Ⅲ-27] 규모별 임가공 사업체 비율	161
[그림 Ⅲ-28] 임가공 '수입'만 있는 전자산업 사업체 현황	162
[그림 Ⅲ-29] 가치사슬 구조와 부가가치와의 관계	168
[그림 Ⅲ-30] 종사자 규모별 고용 비율* 지역별 고용조사(B형) 원자료, 각년도.	175
[그림 Ⅲ-31] 실태조사 설문 내용 중 도급 관련 사항 파악을 위한 설문 내용 ...	181

[그림 Ⅲ-32] 사업장별 연도별 측정건수	186
[그림 Ⅲ-33] 사업장별 연도별 노출수준	188
[그림 Ⅲ-34] 사업장별 검출/불검출 비율	189
[그림 Ⅲ-35] 산업별 연도별 검출/불검출 비율	190
[그림 Ⅲ-36] 측정건수가 많은 유해인자 상위 15개	198
[그림 Ⅲ-37] 상위 15개 측정항목별 노출수준별 측정건수	200
[그림 Ⅲ-38] 사업장 D의 상위 15개 측정항목별 노출수준별 측정건수	201
[그림 Ⅲ-39] 검출된 유해인자의 사업장별 측정건수	203
[그림 Ⅲ-40] 불검출 유해인자의 사업장별 측정건수	205
[그림 Ⅲ-41] 측정위치별 사업장별 측정건수	206
[그림 Ⅲ-42] 사업장별 원청 및 하청의 검출여부별 측정건수	207
[그림 Ⅲ-43] 사업장 B와 D의 원청 및 하청별 검출비율	208
[그림 Ⅲ-44] 사업장 A 및 C의 부서별 측정건수	210
[그림 Ⅲ-45] 사업장 B의 부서별 측정건수 상위 20개	212
[그림 Ⅲ-46] 사업장 B의 하청업체 부서별 측정건수 상위 20개	214
[그림 Ⅲ-47] 사업장 D의 부서별 측정건수 상위 20개	216
[그림 Ⅲ-48] 사업장 D 하청업체의 부서별 측정건수 상위 20개	218
[그림 Ⅲ-49] 사업장 E의 부서별 측정건수 상위 20개	220
[그림 Ⅲ-50] 사업장 A 및 C의 공정별 측정건수	222
[그림 Ⅲ-51] 사업장 B의 공정별 측정건수	224
[그림 Ⅲ-52] 사업장 D의 공정별 측정건수	226

그림목차

[그림 Ⅲ-53] 사업장 E의 공정별 측정건수	227
[그림 Ⅲ-54] 반도체 공정에 대한 위험요인을 게시한 미국산업안전보건청 홈페이지 (https://www.osha.gov/semiconductors)	254
[그림 Ⅲ-55] 자체 State Plan(주 계획)을 가지고 있는 29개 주(*, ** 표시) ...	258
[그림 Ⅲ-56] 2017년 폐지된 오하이오 주의 Administrative Code 1301:7-7-18 "Semiconductor Fabrication Facilities"	260
[그림 Ⅲ-57] 반도체 공정 관련 규정의 유무에 대한 캘리포니아 주정부 관련 부서 (Director of Legislative and Regulatory Affairs)의 답변 ...	260
[그림 Ⅲ-58] 반도체 공정 관련 규정의 유무에 대한 오레곤 주 OSHA의 답변 ...	261
[그림 Ⅲ-59] 반도체 공정 관련 규정의 유무에 대한 Perng-Jy (PJ) Tsai 명예교수 (대만 National Cheng Kung University 환경직업보건학과)의 메일	264
[그림 Ⅲ-60] 법률과 통달 지침의 법적 구속력 차이	276
[그림 Ⅲ-61] 한국 반도체 산업 협회(KSIA)의 홈페이지에 게시된 환경	283
[그림 Ⅲ-62] 전형적인 이온주입 공정 모식도(박동욱 등, 2011)	326
[그림 Ⅲ-63] 산업보건 전문 경력의 응답 결과	360
[그림 Ⅲ-64] 전자산업 안전보건 가이드 개발의 필요성 관련 응답 결과	362
[그림 Ⅲ-65] 전자산업 안전보건 가이드 개발 대상 우선 순위 설문 결과 ...	365
[그림 Ⅲ-68] 전자산업 안전보건 가이드 활용 가능성 관련 설문 응답	377

I. 서론

.....

I. 서론

1. 연구 배경

1) 전자산업과 반도체, LCD, OLED 산업

- 국제표준산업분류(ISIC, The International Standard Industrial Classification)는 유엔에서 개발한 경제활동과 생산품에 대한 산업분류이다. 이 분류에서 전자산업은 “제조업” 아래 ISIC 26; 컴퓨터, 전자 및 광학 제품 제조업에 속한다.
- 전자산업에 속하는 산업 범주는 아래와 같이 모두 전자장치 및 시스템 제작과 제조에 중요한 역할과 기능을 한다.
 - 전자부품 및 보드 제조(ISIC 2610): 반도체(집적회로, 마이크로 칩), 커패시터, 저항기, 회로기판, 디스플레이, 커넥터 및 스위치 등의 기타 부품과 같은 전자부품 제조가 포함됨.
 - 컴퓨터 및 주변 장비 제조(ISIC 2620): 개인용컴퓨터, 노트북, 서버, 컴퓨터 주변 장비(모니터, 키보드, 프린터, 마우스 등), 저장장치 제조와 조립이 포함됨.
 - 통신 장비 제조(ISIC 2630): 전화(유선 및 모바일), 데이터 통신 장비, 라디오 및 텔레비전 방송 장비, 위성통신 장비와 같은 통신에 사용되는 제품 제조가 포함됨.
 - 소비자 전자제품 제조(ISIC 2640): 텔레비전, 라디오, 홈시어터 장비, 비디오게임 콘솔, 기타 소비자 오디오 및 비디오 장비와 같은 제품 제조가 포함됨.
 - 측정, 테스트, 내비게이션 및 제어 장비 제조(ISIC 2651): 검색, 탐지, 내비게이션, 항공기기 제조가 포함됨. 또한 자동제어시스템, 측정, 테

스트 장비 제조도 포함됨.

- 시계 및 시계 제조(ISIC 2652): 모든 유형의 시계 제조가 포함됨.
- 방사선조사, 전기 의료 및 전기 치료 장비 제조(ISIC 2660): 조사 장치 및 튜브(의료용, 연구용, 산업용), 자기공명영상 장비, 의료용 초음파 장비, 인공심박조율기, 보청기와 같은 전기 의료 장비 제조가 포함됨.
- 광학기기 및 사진장비 제조(ISIC 2670): 쌍안경, 현미경, 망원경, 사진 장비와 같은 광학기기 제조가 포함됨.
- 자기 및 광학 미디어 제조(ISIC 2680): 하드드라이브, 콤팩트디스크, DVD, 플래시드라이브와 같은 기록되지 않은(공란) 또는 기록된(소프트웨어, 음악, 비디오) 미디어 제조가 포함됨.

○ 한국표준산업분류는 ISIC를 따른다. 반도체, LCD(Liquid Crystal Display)¹⁾, OLED(Organic Light Emitting Diodes)²⁾ 산업 계통은 제조업(대분류, Sections, C) → 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신 장비 제조업(중분류, Divisions, 26) → 전자 집적회로 제조업(세분류, Classes, 2611) → 전자 집적회로 제조업(세세분류, Sub-classes, 26110)으로 계통적으로 분류된다.

2) 우리나라 반도체, LCD, OLED 산업에서 안전보건

우리나라에서는 2009년 이후 반도체산업 중 반도체 칩(chip)³⁾ 제조공정(전 공정)과 칩 포장공정(후 공정)에서 유해·위험 요인과 건강위험 등에 대한 사회적 논란이 있었다.(박동욱 등, 2012) 우리나라에서 메모리 저장용 칩을 생산하는 반도체산업은 1984년 무렵 삼성전자, 2001년 SK하이닉스에서 시

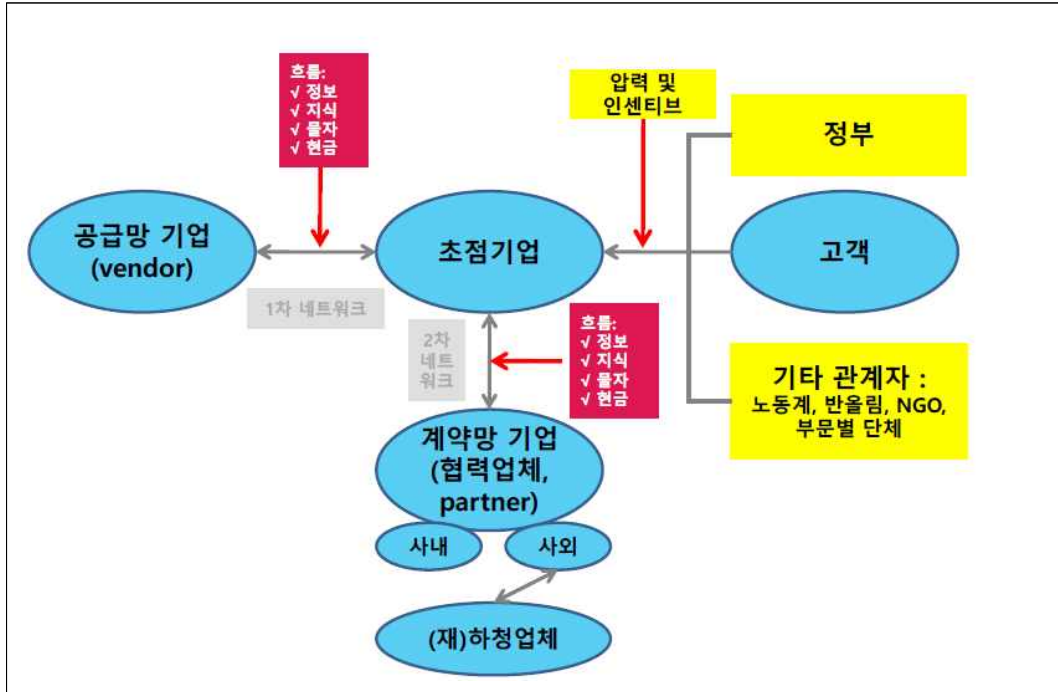
1) LCD(액정디스플레이)는 컴퓨터, TV, 스마트폰과 같은 전자장치의 디스플레이에 사용되는 기술이다. LCD를 제조하는 과정에는 여러 복잡한 단계가 포함된다.

2) OLED(유기발광다이오드) 제조공정에는 전기를 가하면 빛을 발하는 유기물질의 얇은 층을 만드는 여러 단계가 포함된다.

3) 칩은 전자제품에서 집적회로(IC)라고도 하며, 전자회로가 제작되는 작은 반도체 재료(일반적으로 실리콘)이다. 칩은 일반적으로 크기가 수 평방 밀리미터에 불과하며, 수천 개에서 수십억 개의 트랜지스터, 저항기, 다이오드, 커패시터가 포함될 수 있다.

작되었으며, 현재 제조공정과 생산 규모가 세계적 수준이다.

- 반도체 회로 증착 밀도를 높이기 위한 기술 개발로 실리콘 웨이퍼(이하 웨이퍼) 직경이 초창기 5 인치에서 현재는 12 인치(약 300 mm)까지 커졌다. 2000년 후반부터 삼성전자와 SK하이닉스는 12 인치 웨이퍼를 생산하기 시작했으며, 현재는 모든 제조공정이 자동화되어 일반적으로 운전자가 화학물질과 제품을 수동으로 취급하지 않는다.
- 우리나라의 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업에서 사업장 규모, 작업환경, 자동화 현황, 사내와 사외 협력 업체 현황, 원청의 하청 현황과 위험 등에 대한 국가 수준의 자료는 없는 것으로 파악된다. 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업의 공정 생산을 지원하는 화학물질 등 소재, 장비 공급, 장비 설치, 공정 설비 등 정비와 세정(cleaning)을 담당하는 협력 업체 현황 자료는 없다.
- 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업과 관련된 여러 유형의 협력업체가 담당하는 산업은 전자산업에 속하지 않은 사례도 많다. 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업에서 일반화된 하청 규모와 특성을 조사하는 일도 매우 어렵다(손미아 등, 2018).
- 이에 따라 국내외에서 보고된 연구 결과에서는 반도체, LCD, OLED 제조 공장 내부 및 외부 협력 업체의 안전보건 관리 현황, 작업환경, 근로자 건강 영향 평가는 제외되어 있다. 이러한 문제점은 전자산업에만 해당하는 것은 아니라고 판단 한다.



[그림 I-1] 전자산업 원청과 그 주변 거버넌스/환경/협력 업체의 관계(원청용 등, 2020)

3) 전자산업 협력 업체가 담당하는 주요 정비 작업

- 전자산업에서 안전보건 위험이 수반될 수 있는 위험한 정비와 세정 작업에 협력 업체가 관련된다. 다른 산업도 마찬가지이다. 원청회사 안에서 상주하는 협력 업체는 주로 원청회사에 설치된(고정된) 설비 정비, 공정 정비, 세정 등을 담당 한다.
- 원청회사 안에 설치된 각종 공정, 공정 설비와 기계, 공정 지원 시설 등에 대한 주기적, 대응적 정비와 세정이 필요한 대상과 작업은 아래와 같다.
 - 공정 설비 유지보수, 세정, 교정(calibration)
 - 클린룸에서 발생하는 가스상 물질, 입자상 물질 배기 설비인 스크러버 (scrubber)

- 화학 폐수 처리 설비
 - 전기설비 설치와 정비 등
 - 화학물질 공급과 취급 등
 - 가스, 액체 등의 화학물질 공급을 위한 배관시설 정비
 - 공정자동화 설비
 - 공조 시설
 - 건설 및 리노베이션
 - 냉각탑 등
- 원청회사 밖에 별도의 공장이 있는 사외 협력 업체는 원청에서 예방정비와 세정을 완료한 각종 금속 장비, 기계, 부품 등을 추가로 세정하여 다시 원청으로 공급하는 작업을 한다. 이처럼 큰 규모의 전자산업 기업에서는 일반적으로 사내 예방정비, 간단한 세정 등 작업과 사외 추가 세정 작업이 분리되어 있다. 기업의 규모와 경영에 따라 정비, 세정 등 도급하는 특성은 다르다.

4) 정부와 원청의 협력 업체 근로자 안전보건을 관리하기 위한 역할과 책임

- 우리나라의 대규모 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 회사들은 공정 설비와 세정, 정비 작업과 관련된 협력 업체들을 두고 있다. 협력 업체들은 주로 클린룸⁴⁾ 청소, 한 공정 작업이 끝난 후 기계설비 청소, 세정, 설비 유지관리, 예방 유지관리(Preventive Management), 배관 청소, 새 기계나 설비 설치, 기계 옮기기, 화학물질 옮기기, 기계설비 수리와 청소(밀폐공간) 등의 위험한 업무들을 맡고 있다(손미아 등, 2018).

4) 클린룸은 전자제품 제조 산업, 특히 반도체 제조에서 사용되는 통제된 환경으로, 제품에 먼지와 기타 입자가 없도록 유지하는 제어된 환경이다. 클린룸은 먼지, 공기 중 유기체, 기화된 입자와 같은 미립자를 극도로 낮은 수준으로 유지하도록 설계되어 있다. 전자제품 제조 산업에서 클린룸의 목적은 조립되는 제품이 먼지나 기타 오염물질로 손상되거나 해를 입지 않도록 환경을 제어하는 것이다. 클린룸은 제품의 높은 품질과 신뢰성을 보장하기 위해 전자제품 제조에 필수적인 요소이다.

- 안전보건공단 산업안전보건연구원, 전자산업의 보건관리 실태조사 및 근로자 보호방안 마련 보고서를 보면(손미아 등, 2018), 원청 S 기업은 약 300개의 하도급(협력) 업체를 두고 있다고 한다. 안전보건공단 연구 보고서에서는 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업과 주변 환경, 거버넌스, 협력 업체 등과의 관계를 표현했다. 원청회사는 주로 반도체, LCD, OLED 설비 유지보수, 세정, 청소, 시설설비 신설, 부품 납품 등을 하는 하도급(협력)업체들을 두고 있다. S 기업의 하도급(협력) 업체인 B 협력 회사는 총인원이 1100명(남자 1060명, 여자 40명)이다. 반도체, LCD, OLED 설비를 유지보수하는 회사(PM 회사)로 규모가 크다. 이렇게 특히 외부에서 시설 정비 등을 담당하는 협력 업체는 대부분 작업환경 등 안전보건 관리 현황을 제대로 파악할 수 없다.
- 원청회사, 협력 업체, 정부 기관, 산업보건 기관들 등 이해당사자 간에 근로자 안전보건 관리를 위한 책임/협력/감시 등이 체계적으로 이루어지는 거버넌스를 고민하는 것이 필요하다. 그러나 법적인 한계가 있다. 원청 사업장은 [산업안전보건법 제 29조]에 의해 작업장 내에 상주하는 하도급(협력) 업체들에 대한 안전보건 관리 책임이 있지만, 원청 작업공간에 상주하지 않는 외부 협력 업체들에 대해 원청의 직접적인 법적 책임과 역할 등의 구분이 명확하지 않다.
- 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업을 포함한 제조업 작업 현장 또는 외부에서 일하는 협력 업체 근로자들에 대한 산업 안전보건 관련 사항을 관리할 수 있는 거버넌스가 필요하다.
 - 원청 중심으로 사내, 사외 협력 업체 현황
 - 사내, 사외 협력 업체 및 작업별 위험 현황과 위험의 크기
 - 사내, 사외 협력 업체 및 작업별 위험을 관리하기 위한 원청과 정부의 거버넌스 등
- 2022년부터 안전보건공단은 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업에서 정비 등 위험한 작업으로부터 근로자를 보호하기 위한 조사와 연구

사업을 진행하고 있다. 구체적으로 원청 또는 협력 업체가 수행하는 작업 중 상대적으로 사고와 질병 위험이 높은 정비 작업을 대상으로 안전보건 가이드를 개발하고 보급하는 사업을 진행하고 있다.

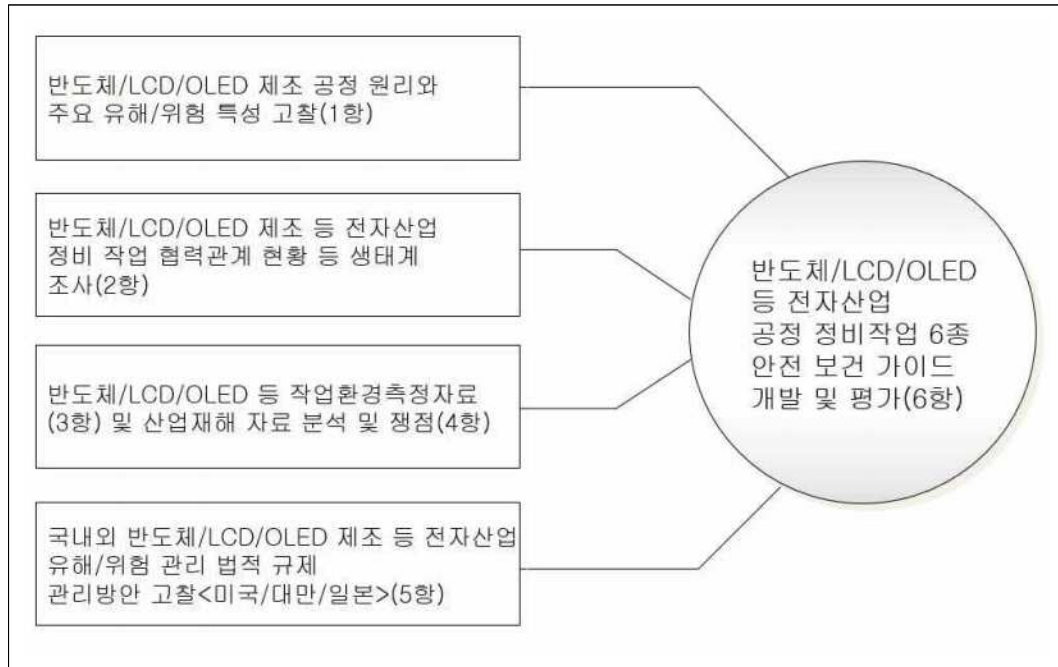
2. 연구 목적

- 본 연구의 궁극적 목표는 반도체, LCD, OLED 제조공정 등 전자산업에서 유해·위험 작업 6가지에 대한 안전보건 가이드를 개발하는 것이다. 각종 공정 설비 정비와 세정 작업 중 상대적으로 안전보건 위험이 크고 개발 필요성이 높은 작업을 우선으로 안전보건 가이드를 개발하였다.
- 궁극적 목표를 달성하기 위한 구체적 목적은 아래와 같다(그림 1-2 참조).
 첫째, 반도체, LCD, OLED 제조공정의 운전과 정비 작업에서 발생하는 유해·위험 요인에 대한 근로자의 노출 특성을 문헌 고찰을 통해서 종합한다. 여기에는 주요 유해·위험 요인에 대한 위험성평가 결과도 포함한다.
 둘째, 우리나라 반도체, LCD, OLED 제조공정의 주요 산업별, 기업별, 정비 작업별 하청 현황 등을 파악한다. 이 연구 결과는 하청 작업의 안전보건 위험을 관리하기 위한 안전보건 가이드 개발에 활용한다.
 셋째, 반도체, LCD, OLED 제조 초점 기업 5개(삼성전자, SK하이닉스, LG디스플레이, 삼성디스플레이, DB하이텍, 이하 초점 기업이라 함)에서 과거 3년 동안(2019~2021년) 작성된 작업환경측정 자료를 분석해서 공정, 정비 작업 등의 측정 결과의 분포를 비교한다. 기업 내, 기업간, 업종별, 시기별, 공정별, 정비 작업별, 노출 결과별 측정 빈도와 결과를 통합해서 분석하여 유해 인자 노출을 평가하고 관리하기 위한 안전보건 가이드 개발에 활용한다.
 넷째, 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업에서 과거 10년 동안 발생한 산업재해 보상 자료를 통해 시기별, 산업별 산업재해 발생 경향 분석과 함께 중대재해 사례를 분석한다. 공정별 정비 직무에서 발생한 화학물

질 누출, 화재, 질식, 추락, 급성중독 등의 재해 사례와 정비 직무에서 발생한 사고 및 질병 사례의 직무 특성을 연구하여, 본 연구의 정비 직무 안전보건 가이드 대상 공정 설비 작업을 선정하고 해당 안전보건 가이드 내용을 구성하는 데 활용한다.

다섯째, 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업의 안전보건 위험을 관리하기 위한 해외의 법적 규정, 권고, 활동 등을 고찰한다. 반도체 등 전자산업 기업과 비중이 상대적으로 높은 것으로 판단한 미국, 일본, 대만의 관리 현황을 고찰한다.

마지막으로 안전보건 가이드 개발 대상을 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 운전과 정비 직무에서 선정하고 이 특성에 맞는 가이드 내용을 구성한다. 안전보건 가이드 개발 대상은 위험성 평가 결과, 기업의 요구, 활용 확장 가능성 등을 고려하여 선정한다. 배경, 내용 구성은 본 연구의 구체적 조사 내용을 활용한다. 안전보건 가이드 개발 필요성, 활용성 등은 원청과 하청 기업 공정 전문가, 반올림 등 시민단체 그리고 학계 등 산업안전 및 산업보건 전문가의 평가를 받았다.



[그림 I -2] 주요 연구 내용과 연구 목표 연계(LCD, Liquid Crystal Display; OLED, Organic Light Emitting Diodes)

Ⅱ. 연구 내용 및 방법

.....

II. 연구 내용 및 방법

1. 문헌 고찰을 통한 연구 범위 설정

본 연구의 6가지 구체적, 궁극적 목적을 달성하기 위한 중요 연구 내용 등 국내외 문헌을 고찰하여 연구 범위를 결정했다.

1) 반도체, LCD, OLED 제조공정 원리와 주요 유해·위험 요인 고찰

- 우리나라에서 반도체, LCD, OLED 제조공정 원리와 유해·위험 요인을 연구한 문헌을 고찰했다. 제조공정별, 작업 종류(운전과 정비)별 유해·위험 요인 발생과 노출 특성을 종합했다.
- 본 연구에서 고찰한 주요 연구보고서는 3편이다. 모두 산업보건연구원이 반도체와 LCD 제조공정의 개념, 원리, 공정별로 사용되는 화학물질 등을 중심으로 작업환경 관리 방법을 마련하기 위한 자체 연구였다. 모두 공정별 운전자 노출에 중점을 두었으며, OLED 제조공정은 아직 연구된 적이 없다.
 - 안전공단 산업보건연구원, 반도체 제조업 작업환경관리 매뉴얼 개발 연구, (2012-연구원-1280), 2012년
 - 안전공단 산업보건연구원, LCD 제조업 작업환경관리 매뉴얼 개발 연구, (2017-연구원-1023), 2017년
 - 백도명 등, 한국 전자산업에서 작업환경측정을 통해 파악된 발암물질 들 노출 특성과 발암물질 관리 방안: 작업환경측정자료(2013-2017)를 중심으로)
- 2022년 말까지 국내 산업보건 관련 학술지에 보고된, 반도체, 전자, LCD, OLED 제조공정에서 발생하는 유해·위험 요인을 연구한 논문은

총 11편이다. 논문의 목적, 주요 결과, 출처를 요약했다. 화학물질, 전자파, 엑스레이 등에 대한 측정 결과를 포함했다. 대부분 특정 공정이나 작업에서 작업자들이 노출될 수 있는 유해·위험 요인 특성이다. 정비 작업에서 발생하는 노출 특성 결과는 발견하지 못했다([표 II-1] 참조).

〈표 II-1〉 국내 반도체와 LCD 제조공정을 대상으로 유해·위험 요인 발생이나 노출을 보고한 논문

저자 (게재 연도)	조사 대상	주요 목표/목적	주요 결과	문헌
정은교 (2009)	청정실 내에서 유기화합물을 1,000 kg 이상 취급하는 사업장 6개소(전자제품 제조업 3개소, 전자부품 제조업 3개소)의 청정실 8개	첨단 전자산업 제조업 사업장의 청정실 내에서 근로자가 흔히 노출되는 아세톤 등 유해화학물질의 발생 수준과 환기시스템 운영 방식을 조사하여, 청정실 내 유해·위험 요인으로부터 근로자의 건강을 보호하기 위한 기초 자료 제공	- 업종별 청정실 내 TVOCs와 CO₂의 평균 농도는 전자제품 제조업 사업장에서 각각 7.8 ppm, 695.3 ppm이었고, 전자부품 제조업 사업장에서 각각 18.0 ppm, 635.5 ppm이었음. - 청정도를 유지하기 위해 청정실의 80% 이상이 환기시스템에 헤파필터를 장착하여 분진 등을 제어하고 있었으며, 청정한 실 내공기는 70% 이상 재순환하여 사용하고 있었음. - 청정실 내에서 사용하는 유기화합물을 제어하기 위해 카본 필터를 사용하는 곳은 단 한 곳뿐임. - 청정실 내에서 사용하는 다양한 종류의 화학물질을 제어하기 위해서는 반드시 헤파필터 외에 추가로 화학(Chemical) 및 카본 필터(Carbon filter)를 사용해야 함.	전자산업 청정실의 작업환경 및 유해물질농도 평가 JKoreanSocOcc upEnvironHyg 2009;19(3) 280~287
박승현 (2012)	웨이퍼 가공 라인(포토 공정, 기타 공정), 조립 라인	문헌 고찰과 실험연구를 통해 반도체 제조 과정에서 발생할 수 있는 부산물을 자세히 살펴봄.	- 공정 중에 사용하는 물질 이외에도 비소, 벤젠 등의 발암물질을 비롯하여 여러 가지 화학물질이 부산물로 발생할 수 있음. - 웨이퍼 가공 라인 포토 공정에서는 벤젠 등 방향족화합물이 부산물로 발생할 수 있음. - 이온주입 공정에서는 비소와 그 무기화합물이 부산물로 발생할 수 있음. - 식각 공정에서는 수소, 암모니아, 불화수소, 염화수소, 질소산화물 등이 부산물로 발생할 수 있음. - 확산 및 증착 공정에서는 수소, 불화수소, 염화수소, 불소 등이 부산물로 발생할 수 있음. - 조립 라인 몰드 공정에서는 벤젠, 포름알데히드 등의 휘발성 유기화합물이 부산물로 발생할 수 있음.	반도체 제조공정에서 발생 가능한 부산물 JKoreanSocOcc upEnvironHyg, 2012;22(1): 52~59

저자 (게재 연도)	조사 대상	주요 목표/목적	주요 결과	문헌
정은교 (2012)	- 반도체 소자를 가공하고 조립하는 사업장 4개소 - 웨이퍼 가공 및 조립 라인의 근로자 81명 - 다른 직업군을 비교하기 위해 선박수리업의 용접 작업자 3명, 대조군으로 동일 사업장 내 사무실 등에서 근무하는 일반사무직 근로자 7명	- 반도체 제조 공정에서의 극저주파 자기장 노출수준 파악 - 반도체 사업장의 웨이퍼 가공(fabrication) 라인과 조립(assembly) 라인에서 사용하는 각종 생산설비와 고용량의 전기설비에서 발생하는 ELF 자기장 노출 실태 및 근로자들의 ELF 자기장 노출수준을 평가하여, 근로자 건강 보호와 향후 역학조사에 사용될 수 있는 기초 자료 제공	- 반도체 제조 사업장 근로자의 직군별 극저주파 자기장 최고 노출량은 공정 엔지니어가 123.2 mT, 장비 엔지니어가 109.4 mT, 오퍼레이터 15.3 μT였음. - 직군별 극저주파 자기장 노출수준의 8시간 가중평균(TWA, Time Weighted Average)은 공정 엔지니어가 0.82 mT, 장비 엔지니어가 0.74 mT, 오퍼레이터가 0.67 mT였음. - 반도체 제조 사업장 생산직 근로자의 극저주파 자기장 노출수준은 일반사무직 근로자보다 높은 수준이었음. - 주요 공정별 극저주파 자기장의 개인 노출수준은 8시간 가중평균으로 측정했을 때 확산 공정이 가장 높음. - 조립 라인의 극저주파 자기장 노출수준이 웨이퍼 가공 라인보다 낮은 이유를 밝히기는 쉽지 않으나, 웨이퍼 가공 라인은 공정과 공정 간 형태가 조립 라인의 공정보다 더 자동화되어 있고 생산 설비들로 공간이 협소한 데 따른 것으로 판단됨.	반도체 제조 근로자의 극저주파 자기장 노출 평가 JKoreanSocOcc upEnvironHyg, 2012:22(1): 42-51
박승현 (2014)	- 반도체 제조 사업장 2개소 - 조립 라인 4개	반도체 제조 공정 중 조립 공정에서 노출 가능한 유해·위험 요인을 중심으로 근로자 노출 특성 파악	- 반도체 조립 라인은 칩 접착, 몰드 공정 등 여러 공정에서 수십 종의 물질을 취급하고, 생산 과정에서 열분해 물질 등이 2차적으로 발생하고 있었으나, 공기 중 농도는 노출 기준에 비해 매우 낮은 수준임.	반도체 조립공정의 화학물질 노출특성 및 작업환경관리 JKoreanSocOcc upEnvironHyg, 2014:24(3): 272-280

저자 (게재 연도)	조사 대상	주요 목표/목적	주요 결과	문헌
최광민 (2015)	- 5개 공정(DIFF, CVD, CMP, ETCH, CLEAN) - 200 mm와 300 mm 반도체 웨이퍼 제조 라인	- 반도체 가공 공정의 생산설비와 부대설비(예: 1차 스크러버) 유지보수 작업과 정상 공정 진행 시 부산물로서 파우더와 에어로졸 형태의 실리카가 생성되는 공정 확인 - 실리카 부산물의 크기, 형상, 결정구조 등의 물리화학적 특성 분석을 통해 반도체 제조 작업환경에 있는 미지의 위험인자 규명	- 반도체 가공 공정 중 실리카 입자가 부산물로 생성되는 공정은 DIFF, CVD, ETCH, CLEAN, CMP의 5개이며, 유지보수 작업 시 생산설비뿐만 아니라 반응 잔여물을 처리하는 1차 스크러버 설비에서도 실리카 입자를 확인함. - 생산설비 챔버 주변에서 확인된 실리카 파우더 입자는 주로 구형이고, 입경분포는 약 0.1~50 μm로 공정별로 다양하며, nm 크기의 1차 입자가 응집해 μm 이상의 큰 입자를 이루는 경우가 많았음. 또한, 공정별 1차 스크러버 설비에서 확인된 실리카 파우더 입자는 대부분 구형이며, 입경분포는 약 0.1~1 μm로 생산설비에서의 실리카 파우더 입자보다 대체적으로 작았음. - 공기 중 실리카 입자는 구형이나 각형이고, 입경분포는 약 25~150 nm였으며, 응집상을 보이는 입자가 있었음. - DIFF, CVD, CMP 공정 생산설비에서 확인된 실리카 파우더 입자의 결정구조 분석 결과, 모두 비결정형 실리카였음.	반도체 작업환경 내 부산물로 생성되는 실리카 입자의 크기, 형상 및 결정 구조 JKoreanSocOccupEnvironHyg, 2015;25(1): 36-44
최광민 (2015)	시스템 LSI(Large Scale Integrated) 200 mm 웨이퍼를 만드는 3개 라인 내 텅스텐(W) 배선을 위해 공급 가스로 WF_6 를 사용하며 파우더 부산물	사전예방의원칙에 기초한 작업환경 내 미지의 유해·위험 요인에 대한 불확실성을 줄여 작업환경 개선은 물론 작업자 건강 유지와 증진에 필요한 정보 제공	- SEM-EDS와 TEM-EDS 분석 결과, 파우더 부산물의 주성분은 O와 W이며, 부성분으로 Al, F, Mg, Ti 등이 함유됨. - TEM 분석 결과, 생산설비에서 확인된 파우더는 1차 입자 기준 10~20 nm의 구형 입자가 응집(입경: 55~90 nm)되어 있었으며, 부대설비에서 확인된 파우더는 1차 입자 기준 16~20 nm의 구형 입자가 응집(입경: 80~120 nm)됨. - XRD 분석 결과, 파우더 부산물은 입방정계(Cu bic)의 결정성을 갖는 WO_3 입자로 규명됨.	반도체 메탈공정 및 1차 스크러버에서 생성되는 파우더 부산물의 물리화학적 특성분석 JKoreanSocOccupEnvironHyg,

저자 (게재 연도)	조사 대상	주요 목표/목적	주요 결과	문헌
	생성이 확인되는 메탈 공정 중 WPlug 공정 진행 설비 5대 및 1차 스크러버(Burn-w et type) 3대			2015:25(3): 294-300
최광민 (2016)	웨이퍼 제조 사업장 5개소	- 반도체 사업장의 작업환경 및 사무실에서 오존농도 수준 평가 - 오존농도 분포 사업장의 작업환경 및 사무실에서의 오존농도 변화 확인 - 작업환경 관리를 위한 기초 자료 제공	- 반도체 Fab 및 사무실에서 측정된 오존농도는 지역 시료의 경우 0.7~7.1 ppb였으며, 실시간 측정의 경우 0.72~4.07 ppb로, 모든 시료는 노출 기준(OEL-TWA), 사무실 오염물질 관리 기준, 일반 대기의 오존농도에 비하여 낮은 수준으로 평가 됨. - 사무실 내 레이저프린터에서 발생하는 오존농도는 2 ppb 이내로, 사용할 때와 사용하지 않을 때의 오존농도 차이는 거의 없음. - 반도체 Fab 및 사무실과 외기의 농도비(I/O ratio)를 비교한 결과 Fab의 경우 0.05, 사무실의 경우 0.06으로 나타나 외기에 의한 영향은 거의 없음.	외기 오존 농도에 따른 반도체 작업환경 및 사무실에서의 오존 농도 변화 연구 한국산업보건학회지, 제26권제2호(2016)ISSN2384-132X(Print)ISSN 2289-0564(Online) Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, 2016:26(2): 188-197

저자 (게재 연도)	조사 대상	주요 목표/목적	주요 결과	문헌
박동욱 (2016)	웨이퍼 가공 공정	- 웨이퍼 가공 공정에서 보고된 화학물질과 방사선(radiation) 노출수준 고찰 - 유해·위험 요인 노출 평가 방향 제안	- 포토 공정의 유기용제류와 EGE류, 이온주입 공정의 비소, 웨이퍼 가공 공정 전반의 극저주파 등을 운전자 중심으로 평가한 결과가 대부분이었고, 노출수준도 매우 낮았음. - 결과들은 시기별로 공정과 작업 노출을 추정할 수 있는 대표성을 갖기에는 한계가 있음. - 정비 근로자의 화학물질, 극저주파, 엑스레이 등의 노출수준을 보고한 문헌은 매우 부족함.	반도체 산업의 웨이퍼 가공 공정 유해·위험 요인 고찰과 활용 - 화학물질과 방사선 노출을 중심으로 - JKoreanSocOccupEnvironHyg, 2016:26(1): 1-10
박승현 (2019)	- 국내 TFT-LCD 제조사업장 2개사 - 가공 라인(4개), 모듈 라인(2개)	LCD 제조공정에 대한 이해와 각각의 공정에서 사용되는 화학물질의 종류와 특성을 파악하여 향후 근로자들의 건강 보호 방안 마련을 위해 활용할 수 있는 정보 제공	- LCD 제조공정 중 스퍼터 공정에서는 알루미늄·ITO 등의 금속 타깃 물질, 화학기상증착 공정에서는 포스핀·실란 등의 가스상 물질, 습식 식각 공정에서는 무기산류, 건식 식각 공정에서는 염화수소·삼염화붕소 등의 가스상 물질이 사용됨. - 포토 공정에서는 고분자 수지, 유기용제, 감광성 성분 등으로 구성된 수식 종의 감광액이 사용되며, 현상액으로는 수산화테트라메틸암모늄 수용액이 주로 사용됨. - 컬러필터 공정에서는 투명전극으로 사용되는 ITO가 증착되고, 감광성 성분으로 고분자 수지, 유기용제, 감광성 성분에 더해 안료가 사용됨. - 액정 공정은 세정, 배향, 액정 주입 등의 과정에서 화학물질을 사용함. 세정을 위해 유기용제가 사용되며, 배향을 위해 폴리이미드수지와 2-부톡시에탄올, 감마-부티로락톤 등의 유기용제가 사용됨. 액정 주입을 위해 비시클로헥산계, 비페닐계, 시클로헥실페닐계, 치환페닐계 혼합물이 사용되거나 이 중 일부 물질로 구성된 혼합물이 사용되는 경우가 있음.	LCD 제조공정에서 사용되는 화학물질의 종류 및 특성 JKoreanSocOccupEnvironHyg, 2019:29(3): 310-321

저자 (게재 연도)	조사 대상	주요 목표/목적	주요 결과	문헌
정기호 (2021)	- LCD 제조사 2개소 - 가공 라인(2개), 모듈 라인(1개)	- LCD 제조공정에서 연 엑스레이 기반 정전기 제거 장치를 사용하는 설비에 대해 전리방사선 지역 발생 수준을 측정한 후 작업자의 방사선량 분석 - 방사선량이 높게 측정된 장비에 대해서는 방사선 지역 발생 수준이 높은 이유를 분석하고, 개선 대책 입안과 적용 효과를 정량적으로 평가 - LCD 제조공정의 전리방사선을 통제하고 관리하는 데 유용한 기초 자료로 활용	- 이온화 장치에서 발생하는 방사선 수준을 낮추기 위해 차폐물의 재질과 두께를 충분히 고려하여 차폐하고, 설비의 이음새로부터 누출이 없도록 밀폐하여 관리하는 것이 필요함. - 장비의 작업조건에 따라 방사선 노출수준에 편차가 있음. - 방사선이 발생하는 이온화 장비가 충분히 차폐되지 않을 때 방사선노출이 심함.	LCD 제조공정의 이온화 장치에 대한 전리방사선 지역노출특성 분석 JKoreanSocOcc upEnvironHyg, 2021:31(4): 342-352
정기호 (2022)	- 국내 LCD 제조사 2개소 - 가공(fabrication) 라인, 모듈 (module) 라인	- LCD 제조공정에서 사용하는 각종 생산설비와 고용량의 전기설비에서 발생하는 극저주파 자기장에 대하여 개인	- 작업에 따라서 극저주파 자기장 개인 노출량이 다른 것으로 나타났으며, 엔지니어가 오퍼레이터보다 높은 수준의 노출량을 보임. - 엔지니어 중에서 극저주파 자기장에 가장 많이 노출된 근로자는 TFT 공정 증착 설비에서 작업하는 사람임. - 차폐된 생산설비와 달리 천장 레일과 배전반 등은 차폐되어	LCD 제조공정 종사근로자의 극저주파 자기장 노출 특성 연구 JKoreanSocOcc upEnvironHyg,

저자 (계재 연도)	조사 대상	주요 목표/목적	주요 결과	문헌
		노출량과 지역 노출량 측정과 분석 - 근로자의 건강을 보호하기 위한 기초 자료로 활용	있지 않아 측정 위치가 발생원에 상대적으로 가까웠기 때문에, 상대적으로 높은 수준의 지역 노출량을 나타낸 설비는 천장 레일과 배전반 등의 부대설비임. - 극저주파 자기장의 발생원으로부터 측정 거리가 멀어짐에 따라 지역 노출량이 현저히 감소함.	2022:32(1): 10-20

- 국내에 보고된 반도체, 전자, LCD 공정에서 발생하는 유해·위험 요인은 주로 운전 과정에서 발생하며, 이는 2000년대 이전 공정을 대상으로 조사한 결과이다. 정비 작업 특성과 정비 작업자가 노출되는 유해·위험 요인에 대한 조사 내용은 없다.
- 문헌 고찰을 통해서 반도체, LCD, OLED 제조공정 원리와 유해·위험 요인 발생 정리 및 고찰 범위를 아래와 같이 결정했다.

(1) 반도체 제조공정 고찰 범위

- 반도체 제조공정은 크게 웨이퍼 제조, 웨이퍼 가공, 칩 조립 공정으로 나눌 수 있다. 웨이퍼 제조는 규암(quartzite)을 정제하여 순수한 실리콘(silicon, Si)을 추출하는 공정과 실리콘으로부터 원판의 단결정 실리콘 웨이퍼를 만드는 일련의 공정이다. 본 연구에서 이 공정은 제외했다.
- 웨이퍼 가공(fabrication)은 기판 위에 다양한 회로를 집적하여 전자적 특성을 부가하고 다시 추가 가공한 후 전자기기용 칩으로 생산하는 과정이다. 수백 단계를 거치지만, 보통 아래와 같은 단위 공정으로 이루어진다(Wald PH & Jones JR, 1987). 이 단위 공정을 반복하여 기판 위에 여러 층의 회로를 쌓아 올린다(Harrison M, 1992).
 - 회로 패턴(patterning): 산화, 포토리소그래피(photolithography), 현상, 식각(etching), 스트리핑
 - 회로 접합 형성(junction formation): 확산(diffusion)
 - 이온주입(ion implantation)
 - 박막 증착(thin film)
 - 금속 증착(metallization)

○ 칩 조립은 가공된 웨이퍼의 뒷면을 얇게 갈아 주고 가공, 절단, 포장하는 공정이다. 유해·위험 요인 발생과 노출 특성에 대한 문헌 고찰을 아래와 같이 주제별로 정리했다.

- 공정별 정비 작업 때 유해·위험 요인 노출 위험
- 사외 협력 업체 정비 작업 때 유해·위험 요인 노출 위험
- 2000년대 이후 반도체 제조공정의 변화 - 유해 인자, 유해·위험 요인 노출 중심 -
- 필요한 경우 본 연구의 현장 조사에서 측정 결과 반영

(2) LCD, OLED 제조공정 고찰 범위

○ LCD는 두 개의 유리 기판 사이에 액정 물질을 넣은 후 전기를 통과시켜 빛이 발생하도록 한 장치이다. LCD는 일반·휴대용 컴퓨터, TV 등 각종 전자제품에 사용된다.

○ LCD 제조공정의 원리는 반도체 제조공정과 비슷하다. LCD 제조공정 라인은 크게 박막트랜지스터(Thin-Film Transistor, TFT)를 배열한 유리 기판과 컬러필터(Color Filter, CF)를 배열한 유리 기판에 설계 패턴을 완성하고 액정을 주입하여 합착하는 가공(Fabrication, Fab) 라인과 합착한 유리 기판에 편광판이나 광원 등을 부착하여 최종 완성하는 모듈(Module) 라인으로 구분된다(정은교 등, 2017).

○ 본 연구에서는 LCD와 OLED 제조공정을 추가 현장 조사와 문헌 고찰을 통해 아래와 같이 고찰했다.

- 현장 방문 조사를 통한 공정별 유해·위험 요인 파악
- 공정별 정비 작업 시 유해·위험 요인 노출 위험, 6가지 정비 작업 중심 유해·위험 요인 노출과 건강위험 평가
- 사외 협력 업체 정비 작업 시 유해·위험 요인 노출 위험, 6가지 정비 작업 중심 유해·위험 요인 노출과 건강위험 평가
- 2000년대 이후 LCD, OLED 공정의 변화 - 유해·위험 요인 노출 중심 -

- 가능한 경우 현장 조사에서 측정 결과 반영

(3) 반도체, LCD, OLED 제조공정 운전과 공정 설비 정비 작업 등 구분

○ 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정의 과정을 보면, 클린룸⁵⁾ 밖에서(non-fab) 배관을 통해 화학물질 등의 원료를 클린룸 공정으로 자동 공급하고, 이들을 클린룸 공정에서 사용한 후 남은 공기 중 가스상, 입자상 물질을 스크러버(Scrubber)로 배기하며, 액상 폐기물은 폐수로 처리한다. 추가로 클린룸 공정을 지원하기 위한 각종 인프라 설비 등이 그물망처럼 설치되어 있다(hen CY et al, 2014) 장소별 주요 공정과 설비별로 이를 포괄적으로 구분하면 아래와 같다(MOM, 1998).

- 제조공정을 운영하는 각종 공정 설비 정비: 클린룸(Fab)
- 제조공정에서 발생하는 가스상, 입자상 물질 배기 시설: 1차 스크러버(fab/클린룸), 2차 스크러버(non-fab, infra 시설)
- 제조공정에서 발생하는 액상 폐기물 폐수 처리 설비: non-fab, infra 시설
- 클린룸 내부와 외부 각종 인프라 지원 시설: 자동화 시설/공조 시설/ 각종 가스 및 액체 배관 시설/전기시설/가스저장 시설 등: fab/클린룸/non-fab 등

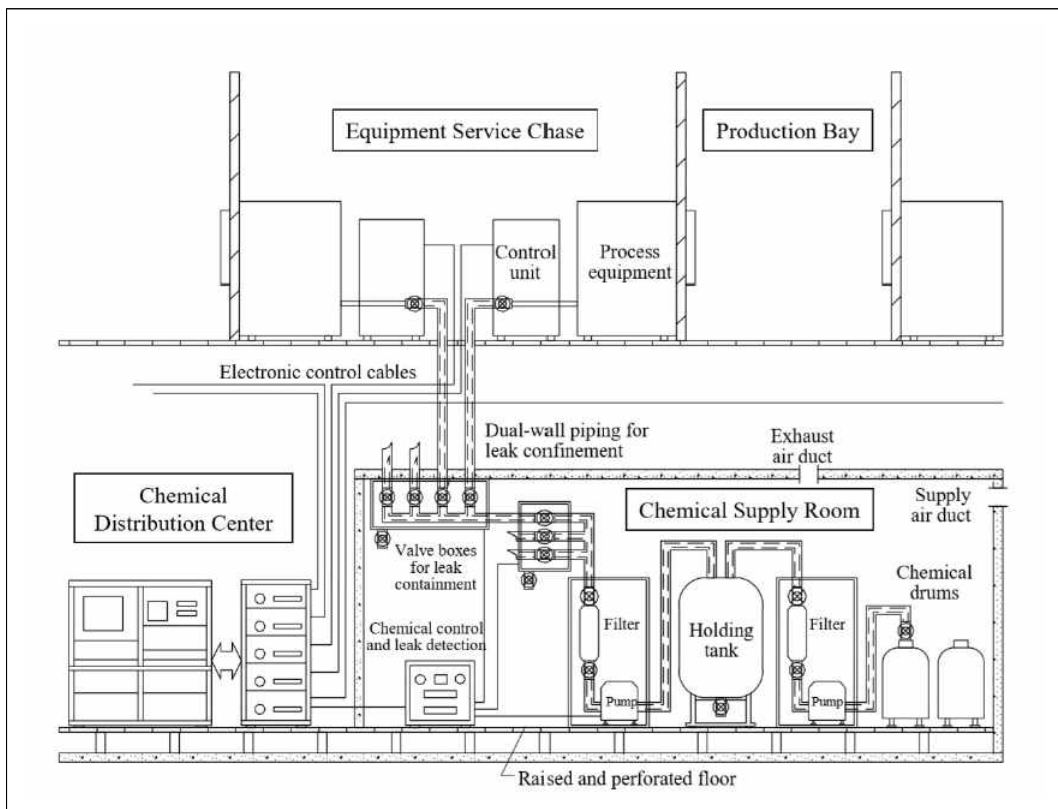
가) 화학물질 자동화 공급 설비에서 작업

- 반도체, LCD, OLED 제조공정에서 사용하는 화학물질은 기체, 액체, 고체로 구성되는데, 일반적으로 상온에서 기체나 액체 물질이다.
- 반도체, LCD, OLED 제조공정을 위한 클린 룸 내 Fab 공정 내 화학물질

5) 클린룸(clean room): 클린룸은 전자산업 제조공정 중 오염을 최소화하고 높은 수준의 청결을 유지하도록 설계된 공정 환경이다. 클린룸은 먼지 등 공기 중 입자가 제품 보호 청결 기준을 충족하도록 유지관리되는 공간이다. 클린룸은 일반적으로 첨단 여과 시스템, 제어된 공기 흐름, 엄격한 직원 출입 및 보호 복장 규정을 통해 오염물질이 제조공정에 유입되는 것을 방지한다. 클린룸 환경은 성능과 품질을 갖춘 반도체, LCD, OLED 등 각종 전자 부품과 장치를 생산할 수 있도록 보장한다.

은 trolley로부터 공정에 도달하여 공급되고 최종적으로 공정 부산물로 배출되기까지 매우 복잡한 과정을 거친다. [그림 II-1]은 화학물질 공급 체계를 나타낸 모식도이다. 클린룸 밖에서 화학물질을 보관하는 곳(chemical supply room), 이들을 클린룸 공정 설비로 정확하게 공급될 수 있도록 조절하여 분배하는 곳(chemical distribution center)으로 밸브와 배관을 통해 정확한 양의 화학물질이 해당 공정 설비로 공급된다.

- 반도체, LCD, OLED 제조공정 등 전자산업에서 화학물질을 공급하거나 공급설비를 정비할 때 사고 발생을 최소화하기 위한 작업 표준 등이 필요하다. 회사마다 안전관리정책과 재정 상태에 따라 표준 작업의 수준은 차이가 있을 수 있다. 표준화된 규칙이나 가이드를 개발하여 기업들이 활용하도록 보급하는 것이 필요하다([그림 II-1] 참조)(Michael, 2001).



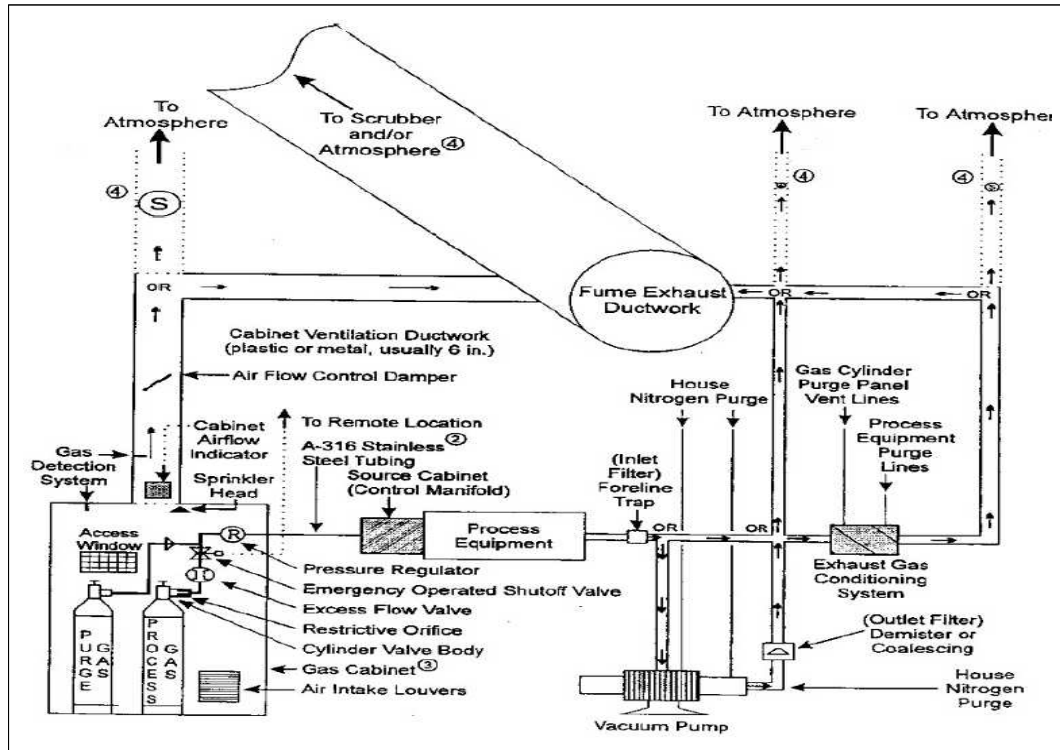
[그림 II-1] 반도체 제조공정에서의 화학물질 공급 체계

나) 제조공정 설비에서 정비 작업

- 반도체, LCD, OLED 제조 산업의 클린룸 공정에서 작업을 크게 구분하면 공정 운전 작업과 정비 작업이다. 정비 작업은 장비가 고장 났을 때 또는 정기적으로 정비하고 고치고 교체하는 활동이다. 운전 작업과 정비 작업 근로자가 안전하게 일할 수 있는 공정별 또는 작업별 안전 작업표준(standard of practice, SOP)이 있다.
- 작업표준에는 공정과 설비의 효율적인 공정관리를 위한 작업 내용이 들어 있다. 여기에는 공학적인 조치, 보호구나 보호장비를 안전하게 쓰고 안전하게 작업할 수 있는 조치도 포함될 수 있다. 기업에 따라 작업표준에 대한 내용과 활용 범위 등은 다양하다.
- 반도체, LCD, OLED 산업 제조공정에서 사용하는 화학물질은 매우 다양하며, 수행하는 작업 종류도 다양하다. 안전한 작업을 위한 표준 작업 가이드를 개발하고 원청과 협력 업체가 따르게 하는 거버넌스가 필요하다.

다) 폐기 가스 및 폐수 처리 설비 정비 작업

- 반도체, LCD, OLED 공정을 다 거친 폐기물 중 가스상 물질은 배관을 통해 스크러버로 처리되고, 액상 폐기물인 산, 염기, 유기용제 등은 특성에 따라 분리된 후 재처리나 폐기 과정을 거친다([그림 II-2] 참조)(MOM, 1998).



[그림 II-2] 일반적 반도체 공정의 유해가스 배관과 처리(스크러버) 시스템

- 공정에서 사용된 유해가스는 일차로 열분해를 하고 액체에서 흡착시킨 후 공기 중으로 배출한다. 대기업에서는 대부분 협력 업체가 스크리버에서 액상으로 흡착된 물질을 회수하여 환경 법규에 따라 재활, 소각, 폐기, 매립 등을 수행한다. 스크리버 정비, 각종 배관 정비, 배관 수리 등 정비 작업에 대한 안전 작업표준이 필요하다. 이를 통해 폐기물 처리와 운반 등에 관여하는 하청업체 근로자의 안전을 관리해야 한다. 또한 공장 밖으로 나온 폐기물이 환경을 오염시키지 않도록 처리하는 지침도 필요하다.

라) 반도체, LCD, OLED 제조공정과 인프라 설비 정비 작업 개괄

- 안전보건공단이 발표한 “반도체 LCD 산업 근로자를 위한 안전보건 모델(협력 업체)”에서 Fab 공정과 Infra 공정(Fab 밖에서 이루어지는 공정)의 작업 종류를 보고했다. Fab 공정에서는 13개, Infra 공정에서는 24개 작업이 있다.

Fab 공정에서 작업 종류 : 클린룸 지역에서 작업

1. 케미컬 취급 작업
2. 설비 운반 작업
3. 가스 취급 작업
4. 동작 설비 접근 작업(Stocker 조정 및 보수 작업)
5. 설비 SET-UP 작업
6. 위험 작업 설비 개조 작업
7. PM/BM 작업 케미컬 사용 설비 PM/BM
8. 가스 사용 설비 PM/BM
9. 일반설비 PM/BM
10. 화기 작업 HotGun 작업/Auto 용접/PVC 용접
11. 일반 작업 PR교체/이동작업
12. 일반 작업 회전체 등 근접 작업(Pump 작업 등)
13. 일반 작업 중량물 취급 작업

Infra 공정에서 작업 종류: 클린룸 밖(non-fab) 지역에서 작업

1. 가스/케미컬 작업 공통
2. 가스/케미컬 작업 공통 사항
3. 가스/케미컬 작업 케미컬 배관 해체/철거 작업
4. 가스/케미컬 작업 슬러리
5. 가스/케미컬 작업: N₂(질소), He(헬륨), O₂(산소), Ar(아르곤), CO₂(이산화탄소), 불활성가스(희석 포함)
6. 가스/케미컬 작업 B급을 제외한 모든 가스
7. 방수 및 세척 물질 본드류, 페인트, 소독제, 세척제 등 사용 작업
8. 방수 및 세척 물질 FRP, 에폭시, 우레탄, 프라이머 등 방수제 작업
9. 화기 작업 PVC 용접(용착기)
10. 화기 작업 ARC 용접
11. 화기 작업 공통
12. 일반 작업 고압가스 운반용 대차
13. 일반 작업 핸드 팰릿(자키)
14. 전기작업 공통
15. 가스/케미컬 작업 가스 Turn-On 작업
16. 가스/케미컬 작업 가스 Turn-Off 작업
17. 가스/케미컬 작업 가스 배관 해체/철거 작업
18. 가스/케미컬 작업 모든 케미컬(폐수, 응축수, 세정수, 배기, 폐액)
19. 가스/케미컬 작업 케미컬 Turn-On/Off 작업
20. 가스/케미컬 작업 탱크로리 충전/폐액 수거 작업
21. 가스/케미컬 작업 케미컬 드럼 교체 작업
22. 가스/케미컬 작업 가스 용기 교체 작업
23. 유해 광선(Laser, UV) 노출 작업
24. 실험실 공통 사항

○ 위에서 설명한 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정과 설비에 대한 정비 작업을 개괄적으로 범주화하면 다음과 같다.

(가) 공정 설비 유지보수(PM, Preventive Maintenance)

- 제조공정이 효율적이고 최적으로 운영될 수 있도록 정기적으로 점검하고 업데이트하는 직업이다. 여기에는 공정 제어 시스템의 캘리브레이션(교정), 공정 파라미터 검증, 공정 도구 검사와 청소, 펌프·히터·냉각기와 같은 보조 공정 장비의 유지관리가 모두 포함된다.

(나) 공정 지원(infra) 시설 설비 유지보수(FM, Facility Maintenance)

- 공장의 물리적 각종 인프라와 유틸리티 설비에 대한 유지관리 작업이다. 여기에는 HVAC(난방, 환기, 공조) 시스템 유지보수, 클린룸 표준 보장, 전원 공급 시스템 유지보수, 스크리버와 폐수처리 시설 내의 화학물질 배기·처리·폐기, 전기·소방 안전 시스템 유지보수, 시설의 구조적 건전성 검사 등이 포함된다.
- 압축공기시스템, 진공 시스템, 정수 시스템, 가스 공급 시스템, 전기 시스템과 같은 유틸리티시스템의 유지관리도 포함된다. 이러한 유틸리티는 다양한 프로세스에서 중요한 역할을 하며, 고장이나 오작동으로 인해 전체 운영(공정의 운전)이 중단될 수 있다.

(다) 안전시설과 시스템 유지보수

- 모든 안전 시스템이 정상적으로 작동하는지 확인하는 작업이다. 여기에는 소화·방재 시스템, 가스와 액위 누출 감지 및 경보 시스템, 방사선 모니터, 비상구 표지판, 비상 세척, 세안 설비 등에 대한 정기 점검이 포함된다.

(라) 소프트웨어와 제어 시스템 유지보수

- 제조공정, 장비, 시설을 제어하고 모니터링하는 데 사용되는 소프트웨어의 정기적인 업데이트와 유지관리이다. 여기에는 제어 시스템이 올바르게 작동하는지 확인하고, 소프트웨어를 최신 버전으로 업데이트하며, 사이버 보안 위협을 확인하고, 데이터 백업 시스템을 유지관리하는 작업이 포함된다.

2) 반도체, LCD, OLED 제조공정 등 전자산업 원·하청 현황

- 현재까지 문헌을 고찰한 결과 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업에서 원청, 하청 현황과 실태를 산업 안전보건 측면에서 조사한 연구는 찾지 못했다. 가장 바람직한 하청 구조 분포에 대한 자료는 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 내 하부 산업별, 주요 초점 기업별, 공정 작업별 하청 구조 등을 파악할 수 있는 국가 자료이다.
- 우리나라 산업 안전보건 활동과 조사 통계는 산업별, 공정별 원청, 하청 등의 구조로 되어 있지 않아 현황을 파악할 수 없다. 작업환경측정, 특수건강진단, 산업재해 통계, 작업환경 실태 조사 등이 모두 같은 한계점을 갖고 있다.
- 일부 반도체 제조업을 대상으로 원청과 하청 표본 기업을 방문해서 산업 안전보건 관리 체계 실태를 조사한 연구는 있다. 안전보건공단 연구(책임 손미아)에서 한국 반도체 제조업의 원청, 하도급(협력)업체 등을 포함하여 총 30개 사업장을 방문해 산업 안전보건 관리 체계 실태를 조사했다(손미아 등, 2018). Fab 제조 사업체(10개), 후 공정 사업체(5개), 화학물질 제조공정 사업체(10개), 패키징 사업체(2개), 장비업체(3개), 한국반도체산업협회(1개)였다. 하도급 협력 업체는 1차부터 4차까지 구분된다. 대규모 반도체 기업의 하도급 형태는 규모와 업종에 따라 다르지만, 대부분 공정 라인과 시설 유지, 설비, 청소 등 공정 라인 인프라 시설 등에 대한 정비를 하청하고 있는 것으로 보고했다.
- 우선 국가통계자료를 고찰하여 전자산업 업종별 기업체 수와 근로자 수를 추정했다. 추가로 초점 원청 기업 5개사와 일부 전자 업종 기업(20개소 정도)을 방문하여 설문 또는 방문을 통해 기업별, 공정별 도급 구조를 파악했다. 주요 내용은 아래와 같다.
 - 공정별 사내·사외 하도급현황(사업장 중심)
 - 공정별 작업별 사내·사외 하도급현황(근로자 수 중심) 등

3) 반도체, LCD, OLED 제조공정 작업환경측정 결과 자료 분석 및 쟁점

- 고용노동부와 한국산업보건공단은 5년마다 우리나라 작업환경측정 결과를 분석하고 있다. 최근(2022년)에 과거 5년간(2017~2021년) 작업환경측정 결과를 시기별, 기업 내, 기업 간, 산업별로 아래와 같은 주요 표준 항목으로 개별화, 총화해서 분석했다.
 - 공정별
 - 작업별(운전, 정비, 세정 등)
 - 노출기준 초과 비율
 - 검출률
 - 유해 인자별 측정 개수
 - 유해 인자별, 규모별 측정 사업장 현황
- 특정 업종별, 기업별 작업환경측정 결과를 비교 분석한 사례는 없었다. 동일한 업종과 공정을 통해 특정 제품을 제조할 경우 기업 내, 기업 간, 공정과 작업 특성별 자료를 분석하고 비교할 수 있어야 한다.
- 본 연구에서는 반도체, LCD, OLED를 생산하는 5개 초점 기업의 작업환경측정 결과를 분석하고 주요 쟁점을 고찰했다. 유해 인자 측정 결과의 특성(시기, 공정, 작업 등)을 통합해서 기업 내, 기업 간, 산업별로 비교할 수 있는지 검토하고 쟁점을 정리했다. 본 분석 결과는 정비 작업 안전보건 가이드 내용 중 작업환경측정 결과의 관리 항목에 반영했다.

4) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 산업재해 보상 통계 자료 분석 및 쟁점

- 우리나라에서 손미아 등이 수행한 전자산업의 보건관리 실태조사와 근로자 보호 방안 마련 - 반도체 제조업에서 산업재해 통계를 분석했다(손미아 등, 2018).
- 우리나라 반도체 제조업체에서 2008년부터 2017년까지 10년간 발생한

산업재해 건수(3,508건) 중 사고성 재해와 직업성질환을 분석했다. 전체 산업재해 건수 3,508건 중에 사고성 재해 건수 3,029건(86.35%), 질병 이환 건수 392건(11.17%), 질병 사망 건수가 62건(1.77%), 업무상 사고에 의한 사망 건수가 17건(0.48%)이었다.

- 직업병만을 분석해 보았을 때, 사고성 요통, 비사고성·작업 관련성 요통, 신체에 과도한 부담을 주는 작업 등과 같은 근골격계질환이 주를 이루고 있지만, 뇌혈관질환, 심장질환, 직업성 암도 발생하고 있으며, 또한 망간, 벤젠, 연·연합금, 유기화합물과 같은 화학물질에 의한 직업성질환이 발생했다고 보고했다.
- 화학물질 누출·접촉에 의한 산업재해 총 57건 중 27건을 분석한 결과, 주로 화상(20건), 화농염증과 피부염(2건), 화학물질 중독에 의한 사망(1건-염화메틸렌(디클로로메탄)), 화학물질 중독(1건-질산), 흡입 손상(1건-질소가스), 폐렴(1건-염산) 등이었다. 화학물질 누출·접촉에 의한 산업재해는 주로 화학물질이 누출되거나 날아다님으로써 발생한다고 보고했다.
- 본 연구에서는 전자산업별로 시기(과거 10년), 주요 초점 기업, 주요 안전사고(추락, 감전 등), 사고의 종류(화학물질 누출, 질식, 화재, 폭발, 급성중독 등)와 같은 항목을 정하여 주요 안전보건 사고 사례를 공정, 직무, 고용 형태별로 정리했다. 이러한 주요 안전보건 재해 사례는 안전보건 가이드 대상 공정 설비 작업을 선정하고 해당 안전보건 가이드의 내용을 구성하는 데 활용했다.

5) 미국, 일본, 대만의 반도체 등 전자산업 유해위험 요인 관리 법적 규정 및 권고 사항 고찰

- 국외의 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업에서 안전보건 위험을 관리하여 산업재해를 예방하기 위한 법적, 권고 등의 현황을 고찰했다. 전자산업 근로자의 질병과 사고 예방을 위한 지침, 가이드, 권고 사항,

fact sheets 등도 고찰 대상이다. 국가, 기업, 반도체협회 등의 전자 및 반도체 유해·위험 요인을 관리하기 위한 활동도 포함했다.

- 고찰한 주요 국가는 미국, 대만, 일본이다. 문헌을 통해 본 연구와 관련된 반도체, LCD, OLED 등 작업의 법적 규정, 고시, 가이드를 먼저 검토했다. 문헌에서 보고되지 않은 내용은 각국 전문가 자문을 통해 확인했다. 본 연구에서 자문받은 미국, 대만, 일본 전문가는 아래와 같다.
 - 미국: Thomas H Gassert MD MSc, Harvard T.H. Chan School of Public Health, Boston, USA. 하버드 명예교수/직업환경의학의. 오리건, 텍사스 등 일부 주는 담당자에게 메일을 보내 내용을 확인함
 - 대만: Tsai, PJ. 명예교수, National Chengong University
 - 일본: Hashimoto, Haruo, MPH, CIH, President, Hashimoto Occupational Safety & Hygiene Consulting

6) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 정비, 설비 정비 작업 안전보건 가이드 개발

- 지금까지 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업을 대상으로 안전보건 위험 요인을 관리하기 위한 광의적인 안전보건 가이드는 두 종류였다. 안전보건공단에서 개발한 15종의 반도체산업 근로자를 위한 건강관리 길잡이, 공단 스마트안전보건기술원에서 개발한 2종의 ‘클린룸 청소작업 근로자를 위한 안전보건 가이드’와 ‘폐가스 처리설비 유지보수작업 근로자를 위한 안전보건 가이드’이다. 각각을 설명하면 아래와 같다.

(1) 반도체산업 근로자를 위한 건강관리 길잡이

- 공단 연구원은 2009년부터 2011년까지 국내 반도체 제조회사들을 대상으로 ‘반도체 제조 사업장에 종사하는 근로자의 작업환경 및 유해·위험 요인 노출 특성 연구’를 기초로 반도체 제조업에서 근로자의 건강 보호를 위해 활용할 수 있는 작업환경관리 매뉴얼을 정리했다. 「반도체산

업 근로자를 위한 건강관리 길잡이」는 반도체산업 근로자의 건강 보호를 위하여 아래와 같이 공정별 작업으로 구분되어 있다(안전보건공단, 2012).

- 반도체산업 근로자를 위한 건강관리 길잡이(X선 검사, 근로자 건강관리, 용어 설명, 물질별 유해·위험 정보)
 - 반도체산업 근로자를 위한 건강관리 길잡이(몰드, 인쇄, 도금, 솔더볼, 열적 테스트)
 - 반도체산업 근로자를 위한 건강관리 길잡이(이온주입, 연마, 후면 연마, 웨이퍼 절단, 칩 접착)
 - 반도체산업 근로자를 위한 건강관리 길잡이(개요, 확산, 포토, 식각, 증착 공정)
- 반도체산업 근로자를 위한 건강관리 길잡이는 공정별로 모듈형으로 작성하여 공정별 유해·위험 요인 노출 특성과 그에 따른 작업환경 관리 요령을 종합한 것으로, 반도체산업의 유해·위험 요인에 대한 정보를 제공하는 것에 중점을 두었다.
- 이는 공정별로 발생하는 유해·위험 요인의 종류와 건강위험 특성을 설명한 것이다. 구체적으로 운전, 정비 등 작업을 수행할 때 각 작업에서 발생하는 유해·위험 요인 등에 대한 대처, 요령 등의 내용은 부족한 것으로 판단한다. 반도체 공정 등 정비 작업에 대한 안전보건 가이드로 사용하기에는 한계가 있다.

(2) 반도체산업 정비 작업 가이드

- 공단 스마트안전보건기술원에서 개발한 ‘클린룸 청소작업 근로자를 위한 안전보건 가이드’와 ‘폐가스 처리설비 유지보수작업 근로자를 위한 안전보건 가이드’ 2종이다. 위 작업을 수행할 때 과정별로 노출되는 위험에 대한 예방과 차단하는 작업 메뉴얼이다. 각각의 안전보건 가이드에는 작업별 특징, 유해·위험 요인, 재해예방 가이드가 수록되어 있다. 또

한 협력 업체(소재, 부품, 장비, 정비 보수, 환경 처리, 운반 업체)가 수행하는 작업의 유해·위험 정보를 제공하고 있다.

○ 본 연구에서 지금까지 개발된 반도체산업 등 안전보건 또는 작업 가이드와 관련된 내용을 검토한 결과, 개선점을 아래와 같이 파악했다([표 II-2] 참조).

- 위험성평가를 통한 정비 작업의 위험 순위 구분 필요
- 교육, 서류, 현장 게시 등에 따른 구분 필요성
- 활용 용도별 분량의 적정성
- 현장에서 직접 활용 가능성
- 건강 유해 요인 발생 작업의 건강위험 평가
- 건강 유해·위험 요인 노출을 줄이기 위한 개인 작업 방법
- 건강 유해·위험 요인 노출을 줄이기 위한 공학적 대책과 작업 방법
- 가독성
- 표준 안전보건 가이드
- 건강위험과 안전사고 사례 제시
- 반도체, LCD, OLED 공정 정비 작업 가이드와 관련된 국내 KOSHA guide 내용과 형식 등 고찰

〈표 II-2〉 안전보건공단에서 개발한 정비 작업 가이드와 관련된 문헌 현황 및 한계점

주요 검토 내용	건강관리 길잡이	정비 가이드
개수	총 14종	총 2종
대상	반도체	반도체, LCD
개발 목표	반도체 공정마다 발생하는 건강위험 인자에 대한 안내-운전자 중심	정비 작업에서 위험 요소를 관리(control)하고자 함
활용	Fab 공정에 한함 공정 유해·위험 요인 파악 공정 운전자 위험관리에 활용	반도체, LCD 주요 폐가스/클린룸 정비 작업에 활용 다른 공정에도 일부 활용 가능
개선 필요성	정비 작업에 직접 활용하기 어려움	내용 정리 등 표준으로 만들기 위한 추가 작업 필요하다고 판단됨
		표준 작업 가이드를 따르지 않음 (지침 수준: 목표, 적용 범위, 용어 정의, 안전 작업 허가 및 승인 등)
		보건 등 유해·위험 요인 노출 추가 필요
		필요성 평가 결과 없음
		영상 제작 고려

(3) 연구 범위

○ 본 연구에서는 반도체, LCD, OLED 제조공정을 중심으로 전자산업에서 활용할 수 있는 공정 설비 정비 작업을 대상으로 안전보건 가이드를 개발했다. 제조공정과 작업을 대상으로 안전보건 위험을 분석해서 상대적으로 위험이 큰 작업을 대상으로 삼았다. 안전보건 가이드 개발에 필요한 원칙은 다음과 같다.

- 안전보건공단에서 개발한 길잡이, 가이드 등을 참고하고 국내외에서 표준으로 활용할 수 있도록 구조, 내용 등을 보강했다.
- 위험성평가 결과, 기업의 요구도 등을 종합해서 안전보건 가이드 개발 대상 공정과 작업을 정했다.

- 구체적인 안전보건 가이드 개발 내용과 개발 전략은 연구방법에서 설명(2항)했다.

2. 연구 방법

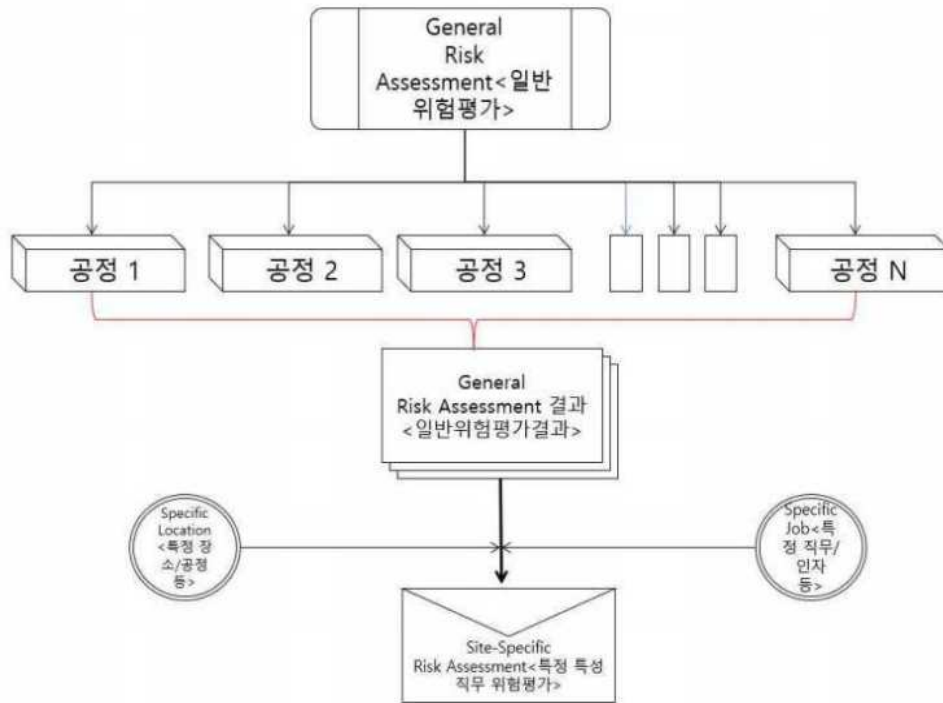
1) 반도체, LCD, OLED 제조공정 원리와 주요 유해·위험 요인 고찰

(1) 공정 분석 및 유해·위험 요인 고찰

- 문헌 고찰과 현장 조사를 통해서 반도체, LCD, OLED 제조공정 원리, 주요 공정, 작업별 유해·위험 요인을 아래와 같이 고찰하고 주요 내용은 안전보건 가이드에 포함했다.
 - 제조공정 원리
 - 제조공정별, 작업별 안전보건 유해·위험 요인 발생과 노출
 - 제조공정별, 작업별 화학물질 사용 현황 등
 - 제조공정별, 작업별 안전보건 유해·위험 요인 관리(control) 대책 등
- 국외 문헌 검색은 PubMed(<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>)를 이용했다. 주요 검색 용어는 ‘semiconductor industry’, ‘chemical’, ‘health effect’, ‘cancer’ 등으로 개별 혹은 조합했다. 국내 문헌 검색은 학술연구정보서비스(Research Information Sharing Service, 이하 RISS), 과학기술 지식 인프라 국내 학술지 데이터베이스(Database Periodical Information Academic), 한국학술정보(Korean studies Information Service System)를 이용했다. 주요 검색 용어는 ‘반도체’, ‘LCD’, ‘OLED’ 등이었다. 검색된 문헌의 초록에서 본 연구 내용과 관련된 주요 내용을 선별했다.

(2) 반도체, OLED 공정별 설비 정비 작업별 위험성평가

- 반도체, LCD, OLED 공정 설비 정비 작업을 수행할 때 발생할 수 있는 잠재적인 안전사고와 건강 영향 유해·위험 요인(hazard)을 발견하고, 관련된 안전사고와 질병 위험을 평가(risk assessment)했다.
- 일반적으로 전체 공정별, 특정 작업별 위험성평가는 먼저 전반적인 또는 포괄적인 일반 위험성평가(Generic Risk Assessment, 이하 GRA라 함)를 수행하고, 상대적으로 위험이 높은 공정 설비 정비 작업을 대상으로 다시 구체적 위험성평가(Site-Specific Risk Assessment, 이하 SRA라 함)를 수행했다.
- GRA 결과에 따라 각 공정, 작업, 인자 등 상황(site)에 맞는 추가 위험 관리 대책을 실행할 수 있다. 특정 현장, 장소, 작업 등을 대상으로 SRA를 세밀하게 평가하고, 상대적으로 위험이 높은 공정, 직무, 유해 인자를 대상으로 안전보건 가이드를 개발하고 따름으로서 위험을 관리할 수 있다([그림 II-3] 참조).
- 기업은 본 연구에서 개발한 안전보건 가이드와 위험평가 관리 템플릿 사례를 활용하여 다른 공정, 현장, 작업 등에 맞는 위험성 평가를 수행할 수 있다.



[그림 II-3] 일반 위험성평가(GRA)와 구체적 위험성평가(SRA) 모형

- 본 연구에서 위험성평가 대상은 공정과 정비 작업에서 노출되는 안전사고 요인과 건강 유해 요인으로 구분했다. 건강 유해 요인 중 인간공학적 요인과 사회심리적 요인, 생물학적 요인, 환경과 생태 영향 요인은 제외했다. 본 연구의 목적은 공정에서 이루어지는 정비 작업의 안전보건가이드 개발이기 때문이다.

(3) 위험성평가에 근거한 안전보건 가이드 개발 대상 작업 선정

- 본 연구에서 GRA 결과를 활용하여 안전보건 가이드 개발 대상 후보를 선정했다. 안전사고 요인은 6개 범주로, 기계 위험 요인, 폭발과 화재, 감전, 질식, 추락, 화학물질 누출이다. 기계 위험 요인은 정비 작업 동안 노출되거나 움직이는 기계 등으로 인한 안전사고 요인이다. 건강 유해

요인은 4개 범주로, 엑스선, 극저주파 등 전자파, 온열, 화학물질 노출이다.

- 안전사고 또는 건강 유해 요인 노출 확률(probability)과 심각성을 아래와 같은 과정을 통해 평가했다. 본 연구에서 GRA는 반도체와 OLED 제조공정의 설비 정비 작업에서 발생하는 안전 및 건강 유해 요인에 대한 노출 또는 발생 가능성과 이들 안전사고와 노출에 따른 손상(영향)과 질병의 심각성을 각각 4개 범주로 분류하고 이들을 조합하여 위험을 평가했다.

가) 안전사고와 건강 유해 요인 노출 확률

- 안전사고와 건강 유해 요인 노출 확률은 총 4개 범주로 임의로 구분했다([표 II-3] 참조). 공정별 정비 주기가 빈번할수록 안전 및 보건 유해 요인 노출 확률이 높다고 가정했다. 공정별 정비 작업 위험은 상대적인 평가이므로 기준이 되는 대상(정비 주기)은 Fab 전 공정 평균 정비 주기로 했다. 즉, 공정별 정비 작업에서 유해 요인 노출 발생 확률은 평가 대상 공정 정비 작업의 정비 주기를 전 공정 평균 정비 주기와 비교하여 1% 미만은 매우 낮음(1), 1~10%일 경우 낮음(2), 10~50%는 중등(3), 50% 이상은 높음(4)으로 평가했다.

〈표 II-3〉 반도체, LCD, OLED 제조공정 작업별 안전 및 건강 유해 요인(hazard) 노출 확률(probability) 사례

범주(점수)	위험 사고 발생 확률 구분: 전 팹 공정 평균 정비 주기와 비교하여 구분
매우 낮음: 1	전 공정 평균 정비 주기 < 1%
낮음: 2	전 공정 평균 정비 주기 1 ~ 10%
중등: 3	전 공정 평균 정비 주기 10 ~ 50%
높음: 4	전 공정 평균 정비 주기 > 50%

- 안전사고 발생 가능성은 현재 안전보건 공학적, 행정적 저감 조치 등의 수준에 따라 결정될 수 있다. 반도체, LCD, OLED 제조공정은 장치 산업이므로 안전사고 요인에 대한 공학적 조치는 마련된 것으로 판단해 위험관리 수준에 따른 유해 요인 노출 확률은 고려하지 않을 수 있다. 이러한 판단은 화재, 폭발, 화학물질 누출 등에 대한 정기적 공정 안전 점검(PSM)의 통과 서류에 따른 것이기 때문이다.
- 그러나 공정 설비 작업에서 공학적, 행정적 안전보건 조치 수준에 따라 노출과 안전사고 발생 확률을 4개 범주로 구분(조치 완벽, 조치 충분, 조치 일부 부족, 조치 결함 등)해서 평가하는 방안도 활용했다.

나) 안전사고와 건강 유해 요인 노출 발생으로 인한 심각성

- 안전사고로 인한 신체 손상은 산업안전보건법에서 정한 ‘반도체, LCD, OLED 제조공정 작업별 안전 및 건강 유해 요인 노출로 인한 손상의 심각성(severity)’을 나누는 기준에 따라 임의로 정했다([표 II-4] 참조).
- 부상이나 질병의 치유에 필요한 휴업일을 기준으로 3일 이내의 휴업이 필요한 경우 경미(1), 3일 이상 휴업이 필요하고 완전 회복이 가능한 경우 중등(2)으로 구분했다. 중대(3)는 3일 이상의 휴업이 필요하고 노동력이 감소할 만한 후유증이 남을 수 있는 경우로 구분했다. 마지막으로 치명(4)은 영구 장애가 남거나 심지어 사망에 이르는 경우로 노동력이 상실되는 단계이고, 공정 운전이 정지될 정도로 심각한 사고가 발생한 경우를 포함했다. 질식, 급성중독, 추락 등으로 인한 사망 또는 치명적 손상, 화재·폭발·화학물질 누출 등으로 손상 또는 공정 운전이 정지된 경우이다.

〈표 II-4〉 반도체, LCD, OLED 제조공정 작업별 안전 및 건강 유해 요인 노출로 인한 손상의 심각성(severity)

범주(점수)	안전 유해 요인 노출로 인한 손상의 심각성
경미(Minor): 1	경미한 사고나 부상으로 3일 이내의 휴업이 필요한 경우
중등(moderate): 2	3일 이상의 휴업이 필요한 부상이나 질병으로, 노동력 완전 회복이 가능한 경우
중대(major): 3	3일 이상의 휴업이 필요한 부상 혹은 질병으로, 노동력이 감소할 만한 후유증이 남을 수 있는 경우
치명(critical): 4	영구 장애가 남거나 사망(노동력 상실) 또는 공정 운전 정지(화재, 폭발, 화학물질 누출 등 해당)

- 건강 유해 요인 노출로 인한 질병의 심각성은 건강에 미치는 유해 인자의 급성, 만성 영향에 따라 정의했다. GHS에 의한 화학물질 유해 지수(Hazard Phrase) 구분을 활용했다([표 II-5] 참조).
- 건강 영향에서 ‘치명’은 비가역적 급성중독이나 비가역적 만성질환인 진폐, 암, 생식독성, 돌연변이 등을 초래할 가능성이 있는 물질이나 유해 인자에 노출된 경우이다.
- ‘중대’는 비가역적 질병이나 가역적이라도 알레르기 등 심각한 호흡기 질환을 초래할 가능성이 있는 물질에 노출된 경우이다. 반도체, LCD, OLED 제조공정에서 많은 화학물질 노출에 따른 가역적, 비가역적 건강 영향은 노출 직후 또는 장기간에 걸쳐 나타나는 것이 일반적이다. 건강 영향의 심각성은 노출 수준과 상관없이 유해 인자 발생과 노출에 따른 잠재적 건강위험으로 구분했다([표 II-5] 참조).

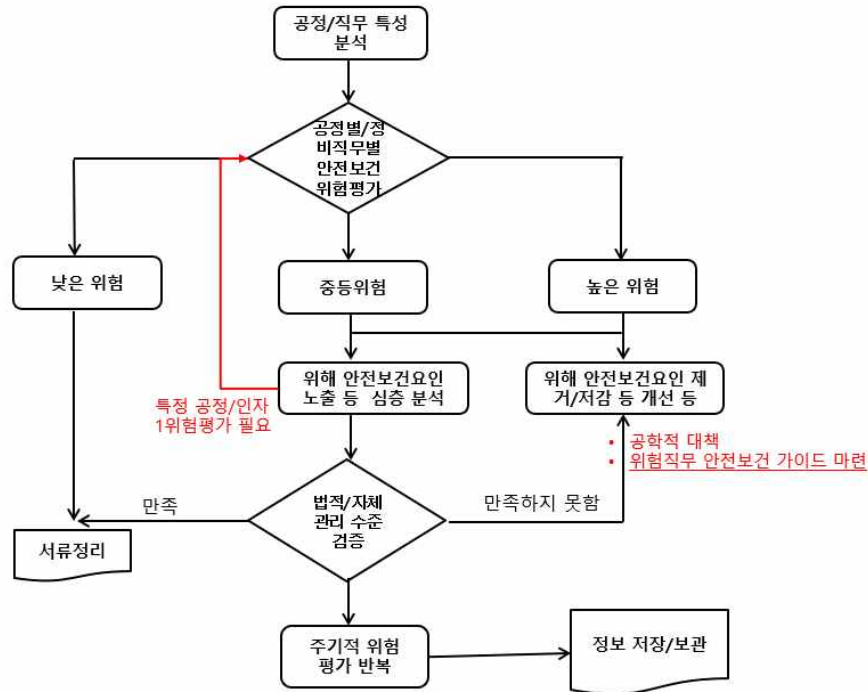
〈표 II-5〉 반도체, LCD, OLED 제조공정 작업별 건강 유해 요인 노출로 생길 수 있는 질병의 심각성(severity)

범주 (점수)	건강 유해 요인 노출로 인한 질병의 심각성	화학물질 유해 지수(hazard phrases) by GHS*
경미 (Minor): 1	경미한 피부, 호흡기 자극을 갖는 가역적 건강 영향 또는 증상	H303, H304, H305, H313, H315, H316, H318, H319, H320, H333, H336과 다른 모든 유해 표시 물질
중등 (moderate): 2	단기간 가역적 건강 영향 또는 증상. 자극보다 심각한 피부 및 호흡기 증상 등 문제	H302, H312, H332, H371
중대 (major): 3	비가역적 건강 영향 또는 오랜 기간 치료해야 하는 가역적 건강 영향으로 독성, 알레르기, 감작, 심각한 호흡기질환 문제	H301, H311, H314, H317, H318, H331, H335, H370, H373
치명 (critical): 4	비가역적 만성질환으로 진폐, 천식, 암, 생식독성, 유전자 영향 초래	H300, H310, H330, H351, H360, H361, H362, H372, H334, H340, H341, H350

* CropLife International, Chemical Exposure Assessment and Control during the Manufacturing Process, Practical Guidance, <https://croplife.org/> accessed on May * 2023

다) 안전보건 가이드 개발 대상 공정 정비 작업 선정

- 안전사고와 건강 유해 요인 노출 가능성/확률(1, 2, 3, 4), 손상의 심각성(1, 2, 3, 4), 질병의 심각성(1, 2, 3, 4)을 곱해서 공정 작업별 위험과 총괄 위험 수준을 결정했다. 이는 공정별, 설비 정비 작업별 상대적 안전보건 위험 등급이다.
- 본 연구에서 상대적으로 안전보건 위험이 높은 공정의 설비 정비 작업을 대상 후보군으로 삼고, 추가로 원청 기업과 협의, 활용범위, 연구실행 가능성 등을 종합적으로 참고하여 최종 ‘안전보건 가이드’ 대상을 결정했다([그림 II-4] 참조).



[그림 II-4] 안전보건 가이드 개발 대상 공정 설비별 정비 작업 선정 과정

2) 반도체, LCD, OLED 제조공정 등 전자산업 원·하청

(1) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 원·하청 현황 조사

- 통계자료를 이용해 전자산업 산업구조와 경영 실태를 파악한다. 이를 위해 이용할 주요 통계자료는 전국사업체조사 자료와 광업·제조업 조사 자료, 경제 총 조사 자료이다.

〈표 II-6〉 통계자료 설명

통계 자료 명	조사 대상	조사 방법	조사 횟수	주요 조사 내용
전국 사업 체조 사	사업체	전수 조사 - 대상: 한국표준산업분류 21개 대분류(A~U) 중 T(자가소비 생산활동), U(국제 및 외국기관)를 제외한 산업의 모든 사업체	연 1회 (매년 2-3월 중 조사)	- 사업체의 조직 특성 및 산업 - 사업체 종사자 실태(성, 종사상 지위, 규모 등)
광업· 제조 업 조사	사업체	전수조사 - 대상: 상시고용 인원 10인 이상 사업체를 대상으로 전수조사(약 75,000개)	연 1회 (매년 6-7월 중 조사)	- 사업체 현황 - 종사자 수 및 연간급여액, 연간 출하액(매출액) 및 수입액, 영업비용, 연간 제품별 출하액 및 재고액, 연간품목별 임가공(수탁제조) 수입액, 재고액, 유형자산(사업체)
경제 총조 사 (202 0년)	사업체	전수조사 - 대상: 한국표준산업분류 21개 대분류(A~U) 중 T(자가소비 생산활동), U(국제 및 외국기관)를 제외한 산업의 모든 사업체	매 5년마다 실시 (년도 끝에 5,00이 들어가는 해)	- 사업체의 기본적인 사항 : 사업체명·소재지 등 - 사업내용에 관한 사항 : 조직형태, 사업체구분, 창설연월, 사업의 종류 및 종사자수 등 - 자본금 및 유·무형자산 등에 관한 사항 - 사업실적에 관한 사항 : 매출액·영업비용·영업이익 등

- 전국사업체 조사는 전국의 사업체를 대상으로 전수 조사하는 통계자료이다. 전수조사이기에 사업체 수를 파악하는 데에는 가장 정확하지만 조사 제외 산업·사업체의 존재, 조사 거부, 마스킹 처리 등으로 인해 전반적인 노동자 규모가 과소 집계된다는 점에 유의할 필요가 있다. 광업·제조업 조사 자료는 상시고용 10인 이상 제조업 사업체를 대상으로 전

반적인 경영현황을 파악하는 자료이다. 상시고용 10인 미만 제조업 사업체는 조사 제외된다는 점에 유의할 필요가 있다.

- 아울러 분석 목적이나 내용에 따라 서로 다른 통계자료를 활용하기에 기준 년도나 수치 등에서 차이가 있을 수 있다. 각각의 통계자료 공개 시점과 조사 대상 기준이 상이하기 때문이다. 따라서 이 장에서 분석결과로 제시하는 수치는 절대 수치라기 보다는 대략적인 수준 정도로 해석하는 것이 필요하다.
- 이 연구에서 전자산업은 표준산업분류 중분류 기준으로 ‘C26, 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업’을 의미한다. 해당 산업에는 ‘반도체 제조업(C261), 전자부품 제조업(C262), 컴퓨터 및 주변장치 제조업(C263), 통신 및 방송장비 제조업(C264), 영상 및 음향기기 제조업(C265), 마그네틱 및 광학매체 제조업(C266)’ 등 국내 전자산업의 주력 부품·제품을 생산하는 산업들이 포함되어 있다.

〈표 II-7〉 한국표준산업분류 상 전자산업의 분류와 범위

구분			품목	
반도체 제조업 (C261)	C2611	전자집적회로 제조업	C26111	메모리용 전자집적회로 제조업
			C26112	비메모리용 및 기타 전자집적회로 제조업
	C2612	다이오드, 트랜지스터 및 유사 반도체 소자 제조업	C26121	발광다이오드 제조업
			C26129	기타 반도체 소자 제조업
전자부품 제조업 (C262)	C2621	표시장치 제조업	C26211	액정 표시장치 제조업
			C26212	유기 발광 표시장치 제조업
			C26219	기타 표시장치 제조업
	C2622	인쇄회로기판 및 전자부품 실장기판 제조업	C26221	인쇄회로기판용 적층판 제조업
			C26222	경성 인쇄회로기판 제조업
			C26223	연성 및 기타 인쇄회로기판 제조업
			C26224	전자 부품 실장기판 제조업

구분			품목	
	C2629	기타 전자부품 제조업	C26291	전자 축전기 제조업
			C26292	전자 저항기 제조업
			C26293	전자카드 제조업
			C26294	전자코일, 변성기 및 기타 전자 유도자 제조업
			C26295	전자 감지장치 제조업
			C26299	그 외 기타 전자 부품 제조업
컴퓨터 및 주변 장치 제조업 (C263)	C2631	컴퓨터 제조업	C26310	컴퓨터 제조업
	C2632	기억장치 및 주변 기기 제조업	C26321	기억 장치 제조업
			C26322	컴퓨터 모니터 제조업
			C26323	컴퓨터 프린터 제조업
			C26329	기타 주변기기 제조업
통신 및 방송장비 제조업 (C264)	C2641	유선 통신장비 제조업	C26410	유선 통신장비 제조업
	C2642	방송 및 무선 통신장비 제조업	C26421	방송장비 제조업
			C26422	이동 전화기 제조업
			C26429	기타 무선 통신장비 제조업
영상 및 음향기기 제조업 (C265)	C2651	텔레비전, 비디오 및 기타 영상 기기 제조업	C26511	텔레비전 제조업
			C26519	비디오 및 기타 영상 기기 제조업
	C2652	오디오, 스피커 및 기타 음향기기 제조업	C26521	라디오, 녹음 및 재생기기 제조업
			C26529	기타 음향기기 제조업
마그네틱 및 학매체 제조업 (C266)	C2660	마그네틱 및 광학 매체 제조업	C26600	마그네틱 및 광학매체 제조업

(2) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 원하청 고용 현황 조사

가) 국가통계 자료 활용

- 통계자료를 이용해 전자산업 고용 및 직업별 추이, 규모별 고용 그리고 일하는 사업체 소재지 등을 조사했다. 이용한 주요 국가 통계는 지역별 고용조사(B형)와 고용형태 공시제 자료이다. 지역별고용조사 분석에는 2014, 2017, 2021년 하반기(10월) 자료와 2022년 자료는 상반기(4월) 자료를 이용한다. 고용형태 공시제 자료 분석은 2014~2022년 자료를 활용한다.

〈표 II-8〉 통계 자료 설명

통계자료명	조사시기	조사 대상	조사 내용
지역별 고용조사	년 2회 조사 - 매년 상반기(4월)와 하반기(10월), 2회	가구 - 전국의 표본 대상 가구인 23만여 가구 내 만 15세 이상 가구원	- 인적사항 - 취업자의 노동조건 - 실업자의 구직활동 실태 - 비경활인구의 특성
고용형태 공시제	년 1회 (매년 4월)	- 상시고용 300인 이상 사업체	- 직접고용, 간접고용 노동자의 고용형태별/성별 규모

- 통계청이 진행하는 ‘지역별 고용조사’ 통계자료는 두 가지 유형이 있다. A형은 전국의 기초지자체별 취업률, 고용률, 실업률, 종사상 지위별 취업자 현황 등의 내용을 파악한다. 아울러 A형은 대분류 기준으로 산업 및 직업별로 현황을 파악한다. B형은 A형과 동일한 내용을 파악하지만 지역 구분 없이 전국 단위로 자료를 제공하며, 산업·직업을 소분류(표준 코드 3자리)까지 조사한다는 차이점이 있다. 이 장에는 지역별 고용조사 B형 자료를 중심으로 전국 단위의 전자산업 노동시장 실태를 파악한다⁶⁾. 특별한 언급이 없는 한 전자산업은 2장과 동일하게 표준산업분류

중분류상 C26(전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업)을 의미한다.

나) 현장조사

- 통계 관련 전문 업체인 KDN(주)에 의뢰하여 설문 조사원이 현장을 방문하여 사업체에 따른 도급(수위탁) 거래 여부에 대해 조사하였음. 사업장의 수위탁 거래에 따른 분류는 원청사, 하청사, 복합, 독립사업체 등으로 구분하였다.
- 원청사는 하도급을 주기만 하는 사업체이며, 하청사는 하도급을 받기만 하는 사업체이고, 복합 사업체는 하도급을 주기도 하고 받기도 하며, 독립사업체는 하도급을 주지도 않고 받지도 않은 사업체로 정의했다.

3) 반도체, LCD, OLED 제조공정 작업환경측정 결과 자료 분석 및 쟁점

- 국가 작업환경측정 자료를 분석하고 주요 쟁점을 정리했다. 반도체, LCD, OLED 제조 기업 5개 사(삼성전자, SK하이닉스, LG디스플레이, 삼성디스플레이, DB하이텍)를 대상으로 공정별, 작업별 작업환경측정 결과 자료를 분석했다. 분석 대상은 최근 3년(2019, 2020, 2021)간의 결과였다. 작업환경측정 결과는 K2B 국가 자료로, 안전보건공단에 공문으로 요청해서 수집했다.
- K2B 자료 구조를 파악하고 아래와 같은 주요 측정 변수를 대상으로 분류했다.
 - 기업
 - 공정
 - 작업(운전, 정비)
 - 측정 시기(연도, 측정 시기)

- 6) 지역별 고용조사는 표본 조사이기에 표본에 가중치를 부여한 수치를 기준으로 분석한다. 그에 따라 일부 항목별 합계가 상이할 수 있다.

- 측정 개수
 - 측정 방법(개인, 지역 등)
 - 측정 대상 소속(개인 근로자 소속)
 - 유해 인자 구분(화학적 인자, 물리적 인자 등)
- 위에서 나열한 주요 변수별 작업환경측정 결과에 대한 분포(평균, 편차, 신뢰구간 등)를 분석하고 비교했다. 기업 내, 기업 간, 시기별 등으로 구분하여 작업환경측정 결과를 비교하고, 주요 쟁점을 고찰했다.
- 작업환경측정 결과 분석에서 얻은 주요 쟁점은 안전보건 가이드에서 유해·위험 요인을 측정하고 결과 자료를 분석하며 관리하는 항목에 포함했다.

4) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 산업재해 통계 자료 분석 및 쟁점

- 국내 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업에서 산업재해 통계 자료를 분석하고 주요 쟁점을 고찰했다. 이를 위해 최근 10년(2011~2021년) 동안 주요 반도체, LCD, OLED 제조 기업을 포함한 전자산업에서 산업재해 보상 자료를 분석했다. 안전사고 및 직업병 사례를 분석했다. 연구진은 안전보건공단에 공문으로 전자산업에서 산업재해 통계 자료를 요청해서 수집했다.
- 산업재해 통계 자료의 구조를 파악하고 아래와 같은 구분과 분류를 통해 산업재해 통계를 분석했다.
 - 산업
 - 주요 기업
 - 공정
 - 산업재해 정도(부상, 사망 등)
 - 산업재해 원인 구분(추락, 화학물질 누출, 직업병 등)
 - 직업병
 - 정비 작업 중 사고, 질병 등 사례 분석
- 산재보상 사례 중 정비 작업에서 발생한 사례를 구분하고 분석하여 안전보건 가이드를 활용할 수 있도록 정리했다.

5) 반도체, LCD, OLED 등 전자산업 유해·위험 요인 관리 법적 규제 및 권고 내용 고찰

- 국내외 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업에서 직업병 등 산업재해를 예방하기 위한 구체적인 법규, 가이드 등의 내용을 고찰하고 정리했다. 법규는 물론 전자, 반도체, LCD, OLED 산업 근로자 질병과 사고 예방을 위한 지침, 가이드, 권고 사항, fact sheets 등 법적 규제는 아니지만 권고 사항 등을 고찰했다.

6) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 설비 정비 작업 안전보건 가이드 개발

(1) 개발 대상 안전보건 가이드 결정 요인

- 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업에 직접적으로 적용할 수 있는 안전보건 가이드로 한정했다. 운전보다 정비 작업에서 안전보건 위험이 더 큰 것으로 알려져 구체적인 가이드 개발 대상 작업은 정비 작업으로 정했다.
- 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정은 빠르게 자동화되어 가고 있어 공정 설비의 안전보건은 일반적으로 설계부터 포함된다. 운전 근로자는 위험에 노출되는 일이 급속하게 감소하고 있으며, 노출 수준도 정비 근로자에 비해 낮다.
- 본 연구에서 개발하고자 하는 안전보건 가이드 대상은 반도체, LCD, OLED 제조공정 설비 정비 작업으로 제한했다. 여기에는 공정에 사용된 설비, 기계, 장비, 부품 등을 정비하고 추가로 세정하는 공정 작업까지 포함했다.
- 반도체, LCD, OLED 제조공정 설비 정비 작업과 원청 밖에서 시행되는 추가 세정 작업을 대상으로 아래와 같은 4가지 요소에 대해 임의적 판단에 따라 안전보건 가이드 개발 대상 공정을 결정했다.
 - 안전보건 위험성평가
 - 조사 대상 기업의 요구
 - 전자산업 등 유사 공정 활용 범위
 - 연구 가능성과 범위(RFP) 등

(2) 안전보건 가이드 내용 구성

- 사고 및 질병 위험을 초래할 수 있는 유해·위험 요인과 이들 요인을 관리하고 피할 수 있는 작업 방법을 작업 전, 작업 중, 작업 후로 구분하여 잘 드러나도록 기술한다. 구체적인 작성 원칙은 아래와 같다.

- 근로자는 물론 기업 안전보건 관리자가 쉽게 이해할 수 있도록 간결하고 쉽게 기술한다.
- 유사한 안전사고와 질병 위험 사례를 제시한다.
- 안전한 작업의 내용이 분명히 드러나도록 한다.
- 교육용, 보관용, 현장 게시용 등으로 단계적 용도에 따라 구분해서 개발한다. 안전보건 가이드 원본은 문서용, 교육용, 추가 근거용으로 모든 내용이 들어가도록 한다.
- 현장 게시용은 핵심 내용과 체크리스트를 1페이지 이내로 요약해서 제시하여 정비 작업자가 위험을 직접 이해하고 관리할 수 있도록 한다.
- 필요한 경우 그림, 삽화 등을 넣어 이해가 쉽도록 한다.

(3) 표준 서식별 주요 내용

- 본 연구에서는 안전보건 가이드 순서와 항목의 표준을 개발했다([그림 II-5] 참조). 일부 공정 설비 정비 작업에 따라 약간의 차이는 있을 수 있지만, 전체 흐름과 항목은 표준으로 작성했다. 이는 향후 KOSHA Guide 또는 지침과의 호환, 영문 가이드 제작 등을 위해서이다.

1. 목적
2. 적용 범위
3. 용어의 정의
4. 관련 근거(법규와 표준)
5. 정비 작업 전 안전보건 조치 사항
 - 5.1 정비 작업 허가
 - 5.2 정비 작업 전 관계 부서와 협조와 확인
 - 5.3 공정 장비 운전, 전기적 차단, 격리
 - 5.4 위험성평가 실행과 심각성(sverity) 확인
 - 5.5 정비 작업 대상 확인 및 정비 작업 구역 설정과 표시
 - 5.6 안전보건 시설 등 성능 확인
 - 5.7 안전보건 교육

6. 정비 작업 중 안전보건 조치 사항
 - 6.1 적절한 개인보호장비 착용
 - 6.2 정비 대상 설비 식히기, 충분한 환기 등 조치
 - 6.3 정비 대상 설비 개방
 - 6.4 정비 작업 중 충분한 환기
7. 정비 작업 후 안전보건 조치 사항
 - 7.1 청소 등 폐기물 처리
 - 7.2 공정 재가동 전 안전보건 조치
 - 7.3 공정 재가동 후 공정 테스트
8. 작업환경측정과 특수건강진단 실시
9. 기록 유지 서류 작성

[그림 II-5] 안전보건 가이드 순서와 주요 항목

(4) 안전보건 가이드 개발 과정

- 본 연구에서 안전보건 가이드는 크게 4단계를 거쳐 개발했다.
 첫째, 연구진이 문헌, 연구 경험, 자문, 위험성평가를 통해 안전보건 가이드 개발 대상 공정과 작업을 결정했다.
 둘째, 연구진은 안전보건 가이드 대상 공정 설비 작업을 대상으로 안전보건 가이드 초안을 개발했다. 이 과정에서 안전보건 전문가의 충분한 자문을 거쳤다.
 셋째, 연구진이 개발한 안전보건 가이드 초안을 초점 기업의 공정 설비 정비자, 전문가와 인터뷰, 서면 자문을 통해 추가 보완했다.
 넷째, 안전보건 가이드 대상 공정과 작업 현장을 방문하여 현장의 내용을 최종 보완하고 실행 가능성을 판단해 안전보건 가이드를 완성했다.

(5) 안전보건 가이드 실행 가능성 등 검토

- (4)항에서 설명한 것처럼 연구에서 개발한 작업별 안전보건 가이드의 개발 필요성과 현장 활용 가능성을 원하청 기업체, 학계 등 산업보건 전문

가 그룹, 시민단체로 나누어서 검토했다.

첫째, 안전보건 가이드를 직접 사용할 그룹인 원하청 근로자들에게 실행 가능성을 조사하고 평가했다.

둘째, 산업보건 전문가 그룹과 반올림 등 시민단체 그룹 약100여명을 대상으로 안전보건 가이드의 과학적 근거와 활용 가능성을 평가했다. 안전보건 가이드의 내용에서 사용한 과학적 근거의 타당성, 위험한 작업 수행 시 건강위험과 안전사고 예방에 활용 가능성 등이다.

(6) 안전보건 가이드 영상 1종 시범 제작

- 연구진이 개발한 6종의 안전보건 가이드 중 연마 블라스팅 안전보건가이드 1종을 요약해서 영상으로 제작했다. 영상 전문가와 협의를 거쳐 내용과 분량을 결정했다. 목적과 주요 내용 등은 아래와 같다.

가) 목적

안전사고, 건강위험과 관련된 주요 핵심 내용을 영상으로 제작했다. 사업장에서 온라인으로 안전하게 작업 방법을 배울 수 있도록 쉽고 간결하게 제작한다.

나) 주요 내용과 분량

영상에 포함할 주요 내용은 연마블라스팅 작업 안전 가이드 목표, 안전보건 건강 위험 알림, 안전한 작업을 위한 공학적 조치, 보호구 착용, 작업요령 등이다. 분량은 10분 이내로 했다.

다) 영상 구성

영상 제작은 연마 블라스팅의 안전보건 위험 요인, 안전한 보호구 착용, 송기 마스크를 통한 신선한 공기 공급 핵심 안전보건내용을 성우의 낭독과 영상 화면으로 구성했다. 화면은 공정에서 촬영한 영상, 인포그래픽 등 다양한 기술을 이용해 가이드 이해를 높였다.

3. 연구 자료 확보 및 연구 윤리(IRB) 승인

1) 작업환경측정 결과 및 산업재해 보상 자료 확보

- 5개 초점 기업에서 측정한 3개년(2019~2022년) 작업환경측정 결과를 안전보건공단에 요청해서 받았다. 한편 과거 10년간 제조업 산업재해 통계는 안전보건공단에 요청해서 받았다. 산업재해 통계 중 추가 재해 보고서 분석이 필요하다.

2) 근로자 개인, 기업 등 민감 정보를 보호하기 위한 IRB 신청 및 허락

- 본 연구 대상 사업장 또는 근로자가 개인의 민감한 정보를 보호하기 위한 조사 절차와 윤리 등을 확보하기 위해 IRB를 신청하고 허락을 받았다.
- 한국방송통신대학교에서 “생명윤리위원회”에 본 연구 대상 사업장 또는 근로자가 개인의 민감한 정보를 보호하기 위한 조사 절차, 조사 내용, 조사 결과 폐기 등 관련되는 내용을 제출하고 IRB 승인을 받았다.
- 한국방송통신대학교 “생명윤리위원회”가 승인한 IRB 번호 (ABN01-202305-21-03)를 문헌, 논문 등 연구 방법에 기록하여 본 연구는 근로자와 사업장 개인 및 민감한 정보를 보호하는 절차를 준수했다는 인증을 한다.

Ⅲ. 연구결과

.....

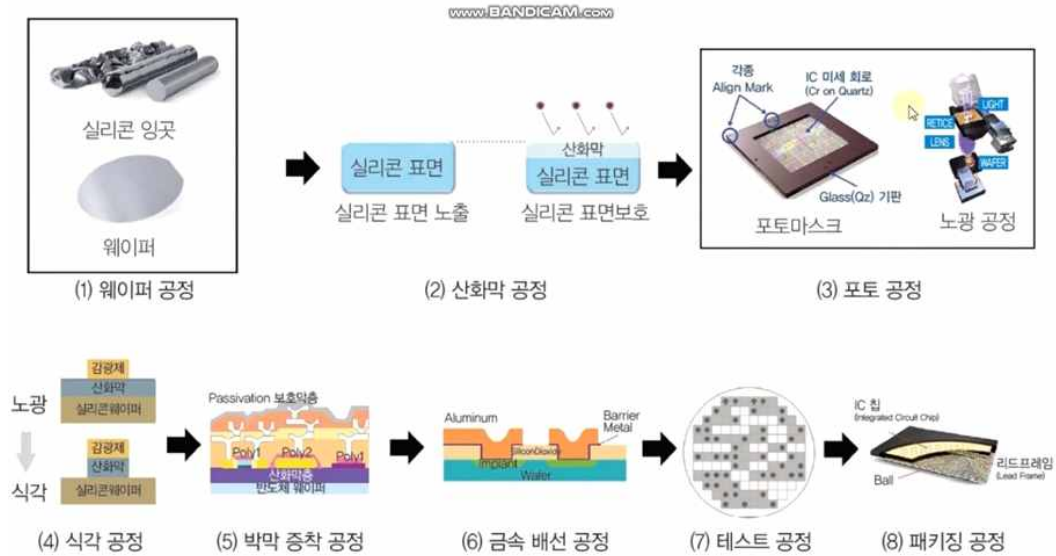
Ⅲ. 연구결과

1. 반도체, LCD, OLED 제조 공정 원리와 주요 유해·위험 요인 고찰

1) 반도체 제조공정 개요

반도체 산업공정은 크게 웨이퍼(wafer) 제조, 웨이퍼 가공 및 칩(chip) 조립공정으로 분류할 수 있다. 웨이퍼 제조는 실리콘(silicon, Si)의 순도를 높이기 위해 규암(quartzite)을 정제하고 순수 실리콘을 추출하는 공정과 실리콘으로부터 단결정 실리콘 원판 웨이퍼를 생산하는 제반 공정을 말한다. 웨이퍼 가공은 기판 위에 다양한 전자회로를 집적하여 전기적 특성을 부가하고 다시 여러번 가공한 후 전자기기용 칩으로 생산해 내는 일련의 공정들을 포함한다. 대부분 각 공정은 별도의 사업장에서 여러 단위공정으로 수행된다. 규소 산화물로부터 실리콘 웨이퍼를 제조 및 가공하여 컴퓨터 칩을 생산하는 반도체 제조공정의 일반적인 흐름도는 [그림 III-1]에 나타나 있다.

연구대상의 반도체 제조공정은 크게 웨이퍼 가공라인과 조립라인으로 구분되며 웨이퍼 가공라인은 확산공정, 포토공정, 식각공정, 이온주입공정, 증착공정 등으로 나누고 조립라인은 크게 프론트 엔드(Front-End), 백 엔드(Back-End)(또는 Package), 테스트(Test) 공정으로 구분할 수 있다. 최근에는 8대 공정으로 웨이퍼 제조로부터 시작하여 산화, 포토, 식각, 증착 및 이온주입 등의 전공정과 금속배선, EDS 검사, 패키지 공정 등의 후공정으로 분류하고 있다.



〈출처 : TECHWORLD ONLINE NEWS, 실트로닉스와 삼성반도체이야기 그림 재구성〉

[그림 Ⅲ-1] 반도체 제조의 8대 공정도

(1) 웨이퍼 제조

가) 공정 설명

웨이퍼는 실리콘(Si, silicon), 갈륨 비소(GaAs, gallium arsenide) 등을 성장시켜 만든 단결정 기둥(잉곳, Ingot)을 적당한 크기로 얇게 자른 원판으로, 대부분의 웨이퍼는 모래에서 추출한 규소, 즉 실리콘으로 만든다.



〈출처 : Samsung Semiconductor Newsroom〉

[그림 III-2] 반도체 웨이퍼 제조과정

(가) 잉곳(Ingot) 성형

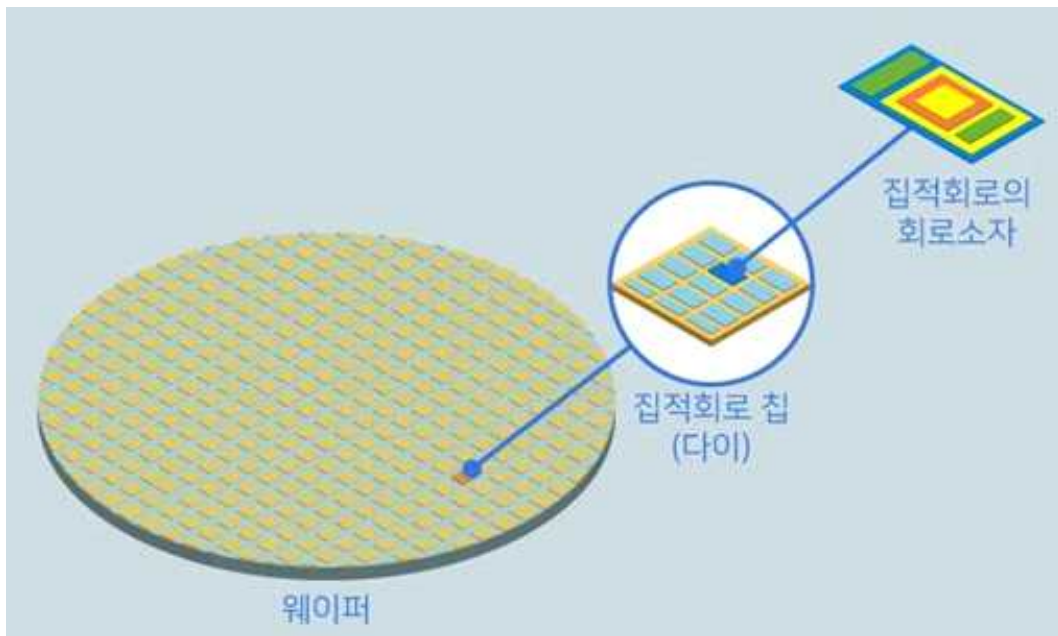
반도체 재료로 사용하기 위해서 모래에서 추출한 실리콘의 순도를 높이는 정제 과정이 필요하다. 실리콘 원료를 고온에서 녹여 고순도의 실리콘 용액을 만들고 이것을 결정형태로 성장시켜 굳게 만든다. 이와같이 제조된 실리콘 기둥을 잉곳(Ingot)이라고 한다. 수 나노미터(nm, nanometer) 크기의 미세한 공정을 다루는 반도체용 기둥은 실리콘 기둥중에서도 초고순도의 가둥을 사용한다.

(나) 잉곳 절단 (Wafer Slicing)

둥그런 팽이 모양의 기둥을 원판형의 웨이퍼(wafer)로 만들기 위해서 다이아몬드 톱을 사용해 동일한 크기의 두께로 아주 얇게 절단한다. 기둥(ingot)의 지름이 웨이퍼의 크기를 결정하게 되어 6인치(150 mm), 8인치(200 mm), 12인치(300 mm) 등의 웨이퍼가 만들어지는데, 웨이퍼 두께가 얇으면 얇을수록 제조원가가 줄어든다. 또한, 잉곳의 지름이 클수록 한번에 제조할 수 있는 반도체 칩의 수가 늘어나기 때문에 웨이퍼의 두께와 크기는 점차 얇고 커지는 경향이다. 지금은 300mm(12인치)가 주류를 이루고 있다.

(다) 표면 연마(Lapping&Polishing)

얇게 재단된 웨이퍼는 표면에 흠결이 있고 거칠어 회로의 정밀도에 영향을 줄수 있기 때문에 연마액과 연마 장비(Polishing machine)를 사용해 정밀가공을 거쳐 매끈하게 갈아내는 과정이 필요하다.



〈출처 : Samsung Semiconductor Newsroom〉

[그림 Ⅲ-3] 반도체 웨이퍼 명칭 및 집적회로

반도체 집적회로(IC, Integrated Circuit)란, 컴퓨터의 다양한 기능을 처리하고 저장하기 위해 다양하고 많은 소자를 한 개의 칩 안에 집적한 전자소자를 말한다. 웨이퍼 기판 위에 수만, 수천개의 동일 회로를 만들어 반도체 집적회로가 제조되는데, 반도체 집적회로를 가득 채우고 있는 트랜지스터(transistor), 커패시터(capasitor), 저항(resister), 다이오드(diode) 등의 소자들은 서로 연결되어 전기 신호를 연산하고 저장하게 된다. 이들의 기능을 보면, 트랜지스터는 전원을 끄고 켜는 스위치 역할을, 커패시터는 전하를 충전해 보관하는 창고 역할을, 저항은 전류의 흐름을 조절하는 역할을 하며 다이오드는 신호를 고르게 전하는 역할을 한다.

웨이퍼 가공이란 웨이퍼 기판 위에 다양하고 수많은 회로를 그려 넣어 반도체 소자를 만드는 과정을 말한다. 이 공정은 주로 팹(Fab) 공장내의 클린룸(cleanroom)에서 이루어지고, 좁은 의미의 반도체 제조공정이란 주로 웨이퍼 가공공정을 의미한다. 웨이퍼 가공은 간단히 말해, 산화 → 포토 → 식각 → 증착 및 이온주입 → 금속막 형성 등 공정을 통해 웨이퍼 위에 회로를 집적하는 공정으로, 하나의 반도체 소자를 생산하기 위해서 각 공정을 순서에 관계없이 필요하다면 선택적으로 수십 번 반복하게 된다.

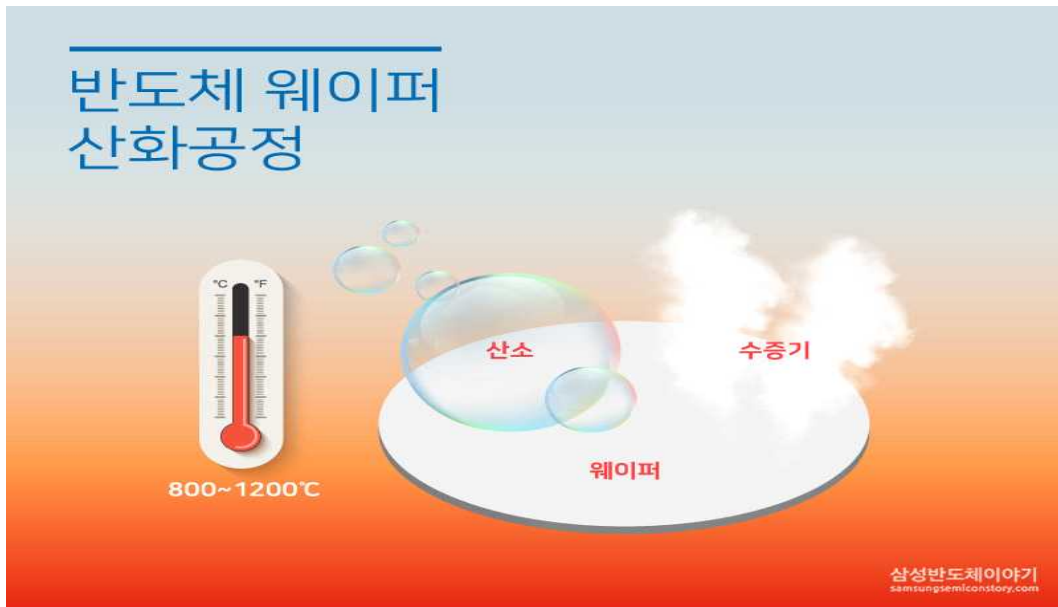
(2) 산화공정

가) 공정설명

산화¹⁾공정은 회로와 회로사이에 전류가 누설되는 것을 차단하기 위해서 웨이퍼 표면에 전기가 통하지 않도록 절연막 역할을 하는 산화막(SiO_2)을 입히는 공정이다. 또한, 산화막은 이온주입공정에서 확산 방지막 역할을 하고, 식각공정에서는 제거되어서는 안되는 필요 부분이 잘못 식각되는 것을 막아주는 식각 방지막 역할도 해준다. 반도체 제조과정에서 산화막은 전기적신호를 보호하는 중요한 보호막 역할을 하는데, 이것은 미세한 공정을 다루는 반도체

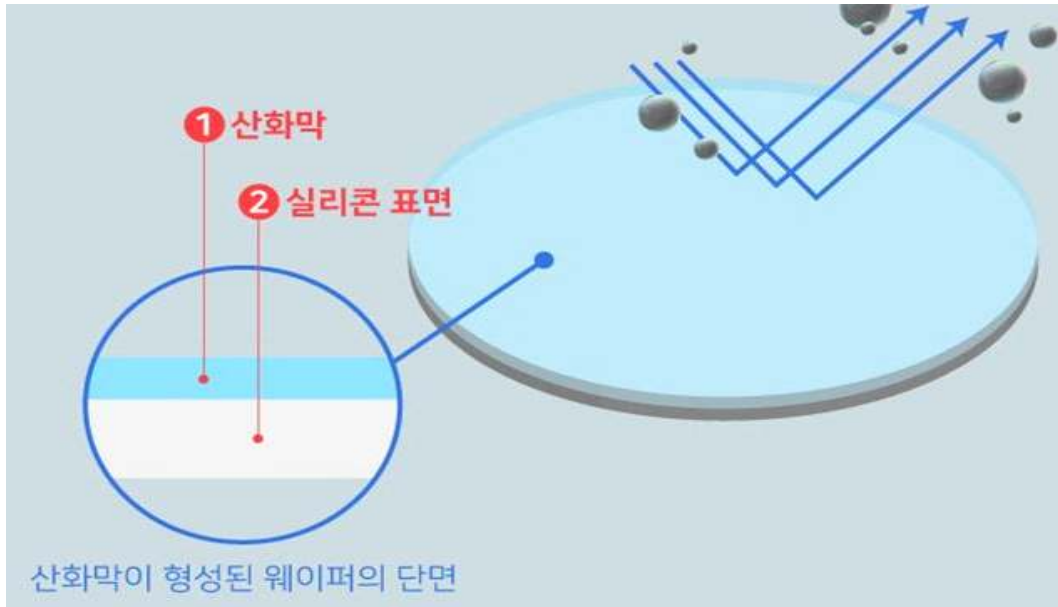
1) 산화(oxidation) : 실리콘(Si)으로 구성된 웨이퍼 표면에 산화막(SiO_2)을 형성하는 것을 말하며, 고온의 확산로에서 실리콘 웨이퍼를 노출시켜 산화막을 얻음.

생산과정에서 아주 작은 이물질도 집적회로의 전기적 특성에 치명적인 영향을 주기 때문이다.



〈출처 : Samsung Semiconductor Newsroom〉

[그림 Ⅲ-4] 반도체 웨이퍼 산화공정



〈출처 : Samsung Semiconductor Newsroom〉

[그림 III-5] 산화막 형성

산화공정에서 웨이퍼에 산화막을 입히는 방법에는 열을 이용한 열산화(Thermal oxidation), 플라즈마를 이용한 화학적 기상 증착(PECVD, plasma enhanced chemical vapor deposition), 전기 화학적 양극 처리방법 등 여러 종류가 있다. 그 중 가장 일반적인 방법은 800~1,200℃의 고온에서 얇고 일정한 실리콘 산화막을 형성시키는 열산화 방법이다. 열산화 방법은 산화반응에 사용되는 기체의 종류에 따라 습식산화(Wet oxidation) 및 건식산화(Dry oxidation)로 나누어지는데, 습식산화는 산소(O_2)와 함께 용해도가 큰 수증기(H_2O)를 함께 사용하기 때문에 산화막 성장속도가 빠르고 보다 두꺼운 막을 형성할 수 있다. 건식산화는 순수한 산소(O_2)만을 이용하기 때문에 산화막 성장속도가 느려 주로 얇은 막을 형성할 때 이용되지만, 전기적 특성이 좋은 산화물을 만들 수 있고 습식산화에 비해 산화층의 밀도가 높다는 장점이 있다.

나) 유해·위험요인

산화공정에서는 고온의 전기로(furnace)에서 이산화규소(SiO_2 , silicon dioxide), 질화규소(Si_3H_4 , silicon nitride) 등의 막을 형성시키고 세척을 위해 암모니아수(NH_4OH , ammonium hydroxide), 불산(HF , hydrofluoric acid), 과산화수소(H_2O_2 , hydrogen peroxide), 질산(HNO_3 , nitric acid), 황산(H_2SO_4 , sulfuric acid), 아세트산(CH_3COOH , acetic acid) 등의 물질을 사용하고 있다. 상기한 모든 화학물질은 사업장에 따라 사용물질에 일부 차이가 있을 수 있다.

안전상 위험요인으로는 오일, 세척제 등이 바닥에 흘렀을 경우 정비작업중 미끄러짐, 배관 및 부품 등 운반시 넘어짐, 설비 및 기기 정비작업시 사다리 작업으로 인한 떨어짐 사고위험이 발생할 수 있다. 또한, 정비작업중 부품 세척, 청소 등으로 끼임사고가 발생할수 있으며 설비내부에서 청소작업시 시설물에 의해 부딪힘 사고가 일어날 수 있다. 세척공정에서 사용되는 암모니아수 등 알칼리류 또는 불산, 황산 등 산류에 접촉할 경우 화상의 위험도 상존한다.

(3) 포토공정

가) 공정설명

일반적으로 포토 리소그래피(Photo Lithography)를 줄여서 포토공정(Photo Process)이라고 하는데, 이 공정은 웨이퍼 상에 회로 패턴이 그려진 마스크 패턴을 빛(EUV, 레이저 등)을 비추어 전자회로를 찍어내듯이 쌓아올리는 데서 비롯된 명칭이다. 여기서 패턴을 형성하는 방법은 흑백 사진을 만들 때 필름에 형성된 상을 인화지에 인화하는 것과 비슷하다.

반도체는 집적도(Integration Density)가 증가할수록 칩을 구성하는 단위 소자 역시 미세 공정을 사용해 작게 만들어야 하기 때문에, 미세한 회로

패턴을 만들기 위해서는 전적으로 포토공정에 의해 결정되기 때문에 하나의 회로에 수많은 소자를 담기 위해서는 포토공정의 기술 또한 세심한 고도의 기술을 필요로 한다.

먼저 컴퓨터 시스템(CAD, computer-aided design)을 이용해 웨이퍼에 그려 넣을 회로를 설계한다. 전자회로 패턴(Pattern)으로 설계되는 이 회로도면에 기술자들이 설계한 정밀회로를 담아내면 그 정밀도에 따라 반도체의 집적도가 결정된다.

설계된 회로패턴은 고순도의 석영(Quartz)을 가공해서 만들어진 웨이퍼 기판 위에 크롬(Cr)으로 미세 회로를 형상화 해서 포토마스크(Photo mask)로 제작한다. 마스크(Mask)²⁾는 Reticle이라고도 호칭하는데, 이것은 회로 도면을 그대로 그려낸 필름으로 사진 원판의 기능을 하게 되고 마스크는 보다 세밀한 패터닝(Patterning)을 위해 반도체 회로보다 크게 제작되며, 렌즈를 이용하여 빛을 축소 조절해 비추어 준다. 포토공정은 다시 감광액 도포, 노광³⁾, 현상 등의 세부 공정으로 나뉘어진다. 감광액 도포공정은 웨이퍼 표면에 빛에 민감한 물질인 감광액(PR, photo resist)⁴⁾을 고르게 뿌려주는 작업으로, 이 작업이 사진을 현상하는 것처럼 웨이퍼를 인화지로 만들어 주는 역할을 한다.

2) 마스크(mask) : 회로패턴이 새겨진 유리판

3) 노광(light exposure) : 빛에 노출시키는 것을 말함.

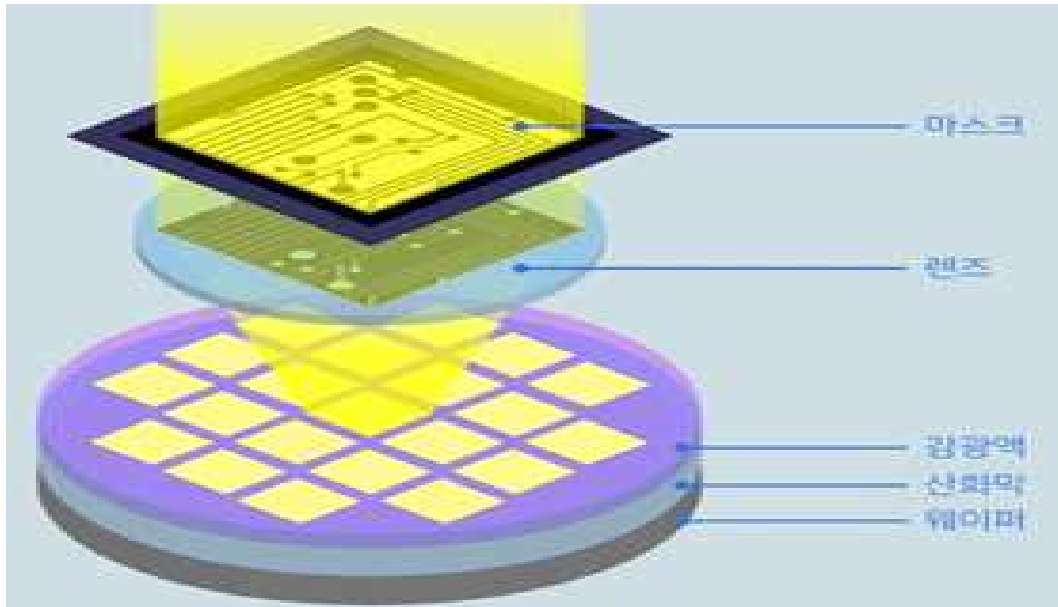
4) 포토레지스트(PR) : 빛을 받았을 때 화학적 변화가 생기는 물질로 웨이퍼에 도포하고, UV(자외선)를 쬌어 원하는 회로패턴을 얻을 수 있음.



〈출처 : Samsung Semiconductor Newsroom〉

[그림 III-6] 산화막이 형성된 웨이퍼에 감광액 도포

다음에는 노광(Stepper exposure)공정으로 노광장비(Stepper)를 사용해 회로 패턴이 담긴 마스크에 빛을 선택적으로 조사시켜 웨이퍼에 회로를 찍어 낸다.

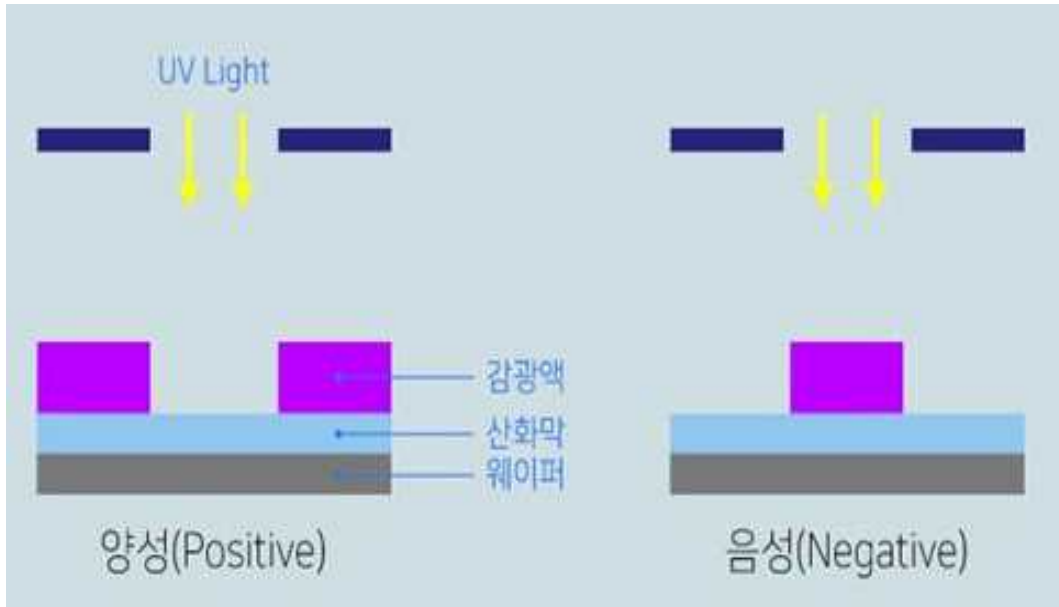


〈출처 : Samsung Semiconductor Newsroom〉

[그림 III-7] 빛을 통해 웨이퍼에 회로를 그려넣는 노광

포토공정의 마지막 단위공정은 현상(Develop)공정으로 일반 사진을 현상하는 과정과 유사하다. 이 공정에서는 패턴의 형상이 완성되기 때문에 매우 중요하다. 현상공정은 웨이퍼에 현상액을 도포해가며 노광된 부분과 노광되지 않은 부분을 선택적으로 제거해 회로패턴을 형성해 가는 공정이다.

웨이퍼 위에 균일하게 입혀진 감광액은 빛에 어떻게 반응하는가에 따라 양성(positive) 또는 음성(negative)로 분류되는데, 양성의 경우 노광 되지 않은 부분을 남기고 음성의 경우 노광된 부분만 남겨서 사용하게 된다.



〈출처 : Samsung Semiconductor Newsroom〉

[그림 III-8] 회로패턴을 형성하는 현상공정

현상 공정을 마친 웨이퍼는 광학 현미경과 각종 측정장비 등을 통해 패턴이 도면과 비교하여 잘 그려졌는지 세심하게 검사한 후, 합격된 웨이퍼만이 다음 공정으로 넘어간다.

나) 유해·위험요인

포토공정에서는 감광액인 포토레지스트(Photo resist)를 비롯해 희석제(Thinner), 현상액(Developer), 감광액 제거제(Stripper) 등과 웨이퍼와 감광액의 밀착성을 향상시켜주는 밀착향상제(Adhesion promotor) 등이 사용되고 있다. 포토레지스트는 감광성성분, 용매, 수지, 첨가제 등으로 구성되어 있다. 포토레지스트의 감광성 성분은 기술개발에 따라 다양하게 변화하고 있고 감광액용 수지로는 페놀(크레졸)-포름알데히드계의 노보락 수지(Novolak resin)를 비롯하여 폴리비닐페놀계 수지, 폴리하이드록시스타이렌계수지, 아크릴계 수지 등 다양한 종류의 수지가 사용되고 있다.

현재 사업장에서는 용매성분으로 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르 [$C_4H_{10}O_2$, propylene glycol monomethyl ether(PGME)], 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르 아세트산 [$C_6H_{12}O_3$, propylene glycol monomethyl ether acetate(PGMEA)], 2-헵타논⁵⁾ [$CH_3(CH_2)_4COCH_3$, 2-heptanone], 노말 부틸아세테이트 [$CH_3CO_2(CH_2)_3CH_3$, n-butyl acetate], 에틸젓산염 ($C_5H_{10}O_3$, ethyl lactate) 등 끓는 점(boiling point)이 150℃를 전후로 한 물질들이 주로 사용되고 있다. 이러한 용매성분들은 사용되는 수지, 감광성 성분에 따라 차이가 있는데 보통 양성 포토레지스트(positive photoresist, 빛을 받은 영역이 현상액에 용해되는 경우)에 사용되는 용매들로 사용되고 음성 포토레지스트(negative photoresist, 빛을 받지 않는 영역이 현상액에 용해되는 경우)의 경우는 에틸벤젠($C_6H_5CH_2CH_3$, ethyl benzene), 크실렌(C_8H_{10} , xylene) 등의 용매가 사용되고 있다.

포토공정에서 사용되는 현상액으로는 테트라메틸암모늄 하이드록사이드⁶⁾ [$C_4H_{13}NO$, Tetramethylammonium hydroxide(TMAH)]가 일반적으로 사용되고 있었으며 기타 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르 아세트산, 지방족탄화수소, 크실렌(C_8H_{10} , xylene) 등이 사용되고 있었다.

웨이퍼와 감광액간의 밀착도를 높이기 위해 밀착향상제를 사용하는데 대부분의 사업장에서 비스(트리메틸실릴)아민⁷⁾ [$C_6H_{19}NSi_2$, hexamethyl disilazane(HMDS)]를 사용하고 있었다. 포토공정에서 사용된 감광액인 포토레지스트는 감광액 제거제에 의해 1차적으로 제거되는데 에탄올아민 (C_2H_7NO , ethanolamine), 카테콜($C_6H_6O_2$, catechol), 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르, 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르 아세트산 등이 사용된다. 보통 감광액 제거는 주로 포토공정에서 이루어지는데 식각공정에서 이루어지는 경우도 있다. 이상과 같이 정비작업중에는 위에 열거한 화학물질과 잔류물질, 폐액 등에 노출될수 있다.

5) 동의어 : 메틸 n-아밀 케톤

6) 동의어 : 수산화테트라메틸암모늄

7) 동의어 : 헥사메틸디실라잔

안전상 위험요인으로는 수지, 감광성물질 등이 바닥에 흘렸을 경우 정비 작업중 미끄러짐, 배관 및 부품 등 운반시 넘어짐, 설비 및 기기 정비작업시 사다리 작업으로 인한 떨어짐 사고위험이 발생할 수 있다. 또한, 정비작업중 부품 세척, 청소 등으로 끼임 사고가 발생할수 있으며 설비 내부에서 청소작업시 시설물에 부딪히는 사고가 발생할 수 있다.

(4) 식각공정

가) 공정설명

식각공정은 웨이퍼 위에 기체 또는 액체의 식각액(etchant)를 사용하여 불필요한 영역을 선택적으로 제거해 반도체 회로패턴을 만드는 공정으로, 반도체를 구성하는 여러 층의 박막에 원하는 회로패턴을 그리는 과정을 반복 실시함으로써, 반도체의 구조가 만들어진다.

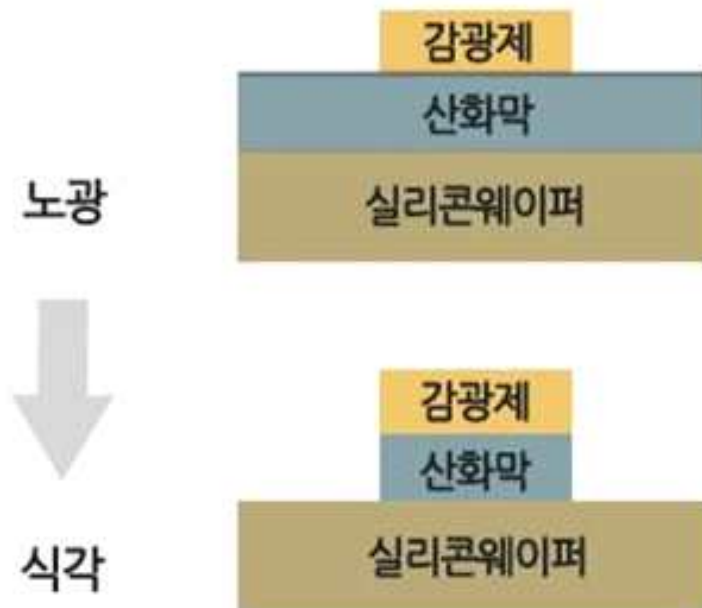
식각공정은 식각 반응을 일으키는 물질의 상태에 따라 건식(dry)과 습식(wet)으로 나누어지는데, 반도체는 불필요한 부분을 제거할때 포토공정(빛과 감광액)을 이용하여 부식 방지막을 형성하고, 습식이나 건식 부식액(etchant)을 사용하여 불필요한 회로부분을 벗겨 내는 것이다.

습식에 비해 건식은 비용이 많이들고 방법이 까다로운 단점이 있으나, 최근에는 나노크기로 집적화되는 기술발전에 따라 회로선폭도 미세해지고 이에 따른 수율을 높이기 위해 습식보다는 건식식각을 많이 이용하고 있다.

○ 건식식각(Dry etching)

건식식각은 플라즈마 식각이라고도 하는데, 일반 대기압보다 낮은 압력으로 유지되는 진공 챔버(chamber)에 가스(Gas)를 넣은 후, 전기 에너지를 공급하여 플라즈마를 발생시킨다. 여기서 플라즈마란 고체, 액체, 기체를 넘어선 제4의 물질로 많은 수의 자유전자, 이온 및 중성의 원자 또는 분자로 구성된 이온화된 기체를 말한다. 이온화는 전기적으로 중성인 원자 또는 분자가 자신이 보유하고 있던 전자를 잃거나 추가로 얻으므로써, 양전하 또는 음

전하 상태로 변하는 현상을 말한다. 플라즈마를 사용하기 위해서는 라디오파 영역대의 주파수 발생기나 장비내에서 주파수 증폭을 통해 라디오파 영역대의 주파수를 확보해야 한다. 플라즈마 상태에서 해리된 유리성 원자(Radical atom)가 웨이퍼 위를 싸고 있는 막질 원자와 만나 강한 휘발성을 띠면서 표면에서 떨어져 나가게 되고 이러한 유리반응을 통해 감광액(Photo Resist) 보호막으로 가려져 있지 않은 막질이 제거된다.



〈출처 : Samsung Semiconductor Newsroom〉

[그림 III-9] 식각공정(Etching)

나) 유해·위험요인

식각공정에서 사용하는 화학물질은 습식식각에서 수산화 암모늄(NH_4OH , ammonium hydroxide), 불산⁸⁾(HF , hydrofluoric acid), 과산화 수소(H_2O_2 , hydrogen peroxide), 황산(H_2SO_4 , sulfuric acid), 질산(HNO_3 , nitric

8) 동의어 : 플루오린화 수소산, 불화 수소산

acid), 아세트산(CH_3COOH , acetic acid) 등의 각종 산 및 염기물질이 사용되고, 건식식각은 아르곤(Ar, argon), 삼염화붕소(BCl_3 , boron trichloride), 염소(Cl_2 , chlorine), 카르보닐 황화물(COS , carbonyl sulfide), 디플루오로메탄(CH_2F_2 , difluoro methane), 수소(H_2 , hydrogen), 브롬화 수소(HBr , hydrogen bromide) 등의 물질이 사용된다. 상기물질이 모든 사업장에서 사용되는 것은 아니며 사업장에 따라 약간씩 차이는 있다. 설비 및 탱크 등 정비 중에 부식성, 독성이 강한 화학물질을 직접 취급해야 하므로 피부나 눈에 접촉하거나 흡입으로 위에 열거한 화학물질에 노출될 위험이 높아질 수 있다.

안전상 위험요인으로는 식각용 화학물질을 교체하거나 옮기거나 폐기할 때 또는 장비 고장 등으로 화학물질이 유출되거나 누출될 위험이 있으며, 이는 화상, 호흡기 건강 및 환경적 위험으로 이어질 수 있다. 화학물질을 잘못 보관하면 우발적인 화재 또는 폭발로 이어질 수 있으며 전기 시스템을 적절히 차단하고 잠그지 않으면 감전이나 화상의 위험이 발생할 수 있다. 또한, 정비 작업중 미끄러짐, 배관 및 부품 등 운반시 넘어짐, 설비위에서 사다리 작업으로 인한 떨어짐, 청소작업 등으로 끼임 및 부딪힘 사고가 발생할 수 있다.

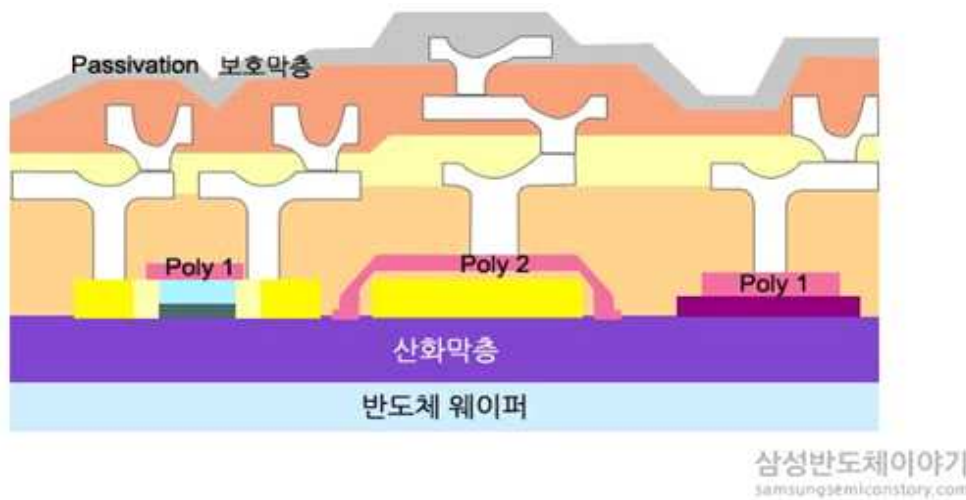
(5) 증착(박막) 및 이온주입 공정

가) 공정 설명

사전적 의미로 ‘박막(thin film)’이란, 기계가공으로는 실현 불가능한 두께인 1마이크로미터(μm , 100만분의 1미터) 이하의 얇은 막이라고 정의되어 있다. 예를 들어, 8인치(inch) 크기의 웨이퍼(반경 100 mm)에 두께가 1마이크로미터(μm)의 박막을 씌운다고 가정해 보자. 이는 곧 반경 100 m 크기의 운동장에 모래를 1mm 이하의 두께로 균일하게 까는 것과 같은 레벨이니 박막을 씌우는 일이 얼마나 정교하고 세밀한 기술력이 필요한지를 알 수 있다.

웨이퍼 상에 원하는 분자 또는 원자 크기의 물질을 얇은 막의 두께로 깔아 전기적인 특성을 가지게 하는 일련의 과정을 증착(Deposition)이라고 한다.

증착의 방법은 크게 물리적 기상증착방법(PVD, Physical Vapor Deposition)과 화학적 기상증착방법(CVD, Chemical Vapor Deposition)으로 나뉜다.



〈출처 : Samsung Semiconductor Newsroom〉

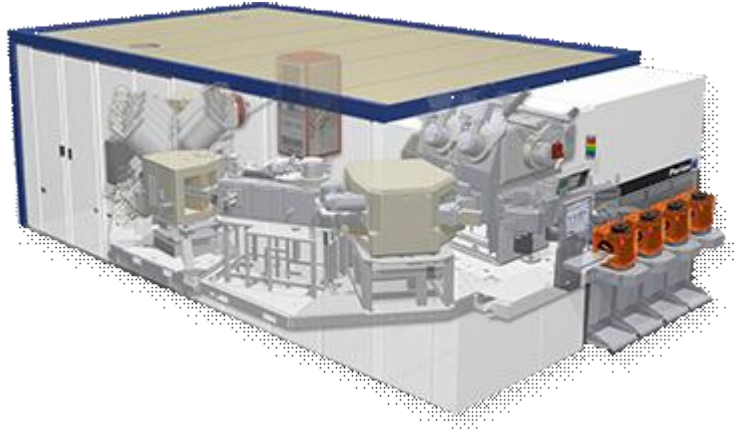
[그림 III-10] 증착공정(Deposition)

물리적 기상증착방법(PVD, Physical Vapor Deposition)은 주로 금속으로 박막의 증착에 사용되며 화학반응은 일어나지 않는다. 화학적 기상증착방법(CVD, Chemical Vapor Deposition)은 가스에 의한 화학 반응으로 생성된 입자들을 외부 에너지가 인가된 수증기 형태로 쏘아 증착시키는 방법으로 도체, 반도체, 부도체의 박막증착에 모두 사용될 수 있는 기술이다. 이와같은 이유로 현재 반도체 공정에서는 화학적 기상증착방법을 주로 사용하고 있는데, 화학적 기상증착방법은 사용하는 외부 에너지에 따라 열 화학기상증착, 플라즈마 화학기상증착, 광 화학기상증착 등으로 분류된다. 특히 플라즈마 화학기상증착의 경우, 다른 화학기상증착 방법에 비해 저온에서 형성이 가능하고 균일한 두께를 유지할 수 있으며 대량 처리가 가능하다는 장점 때문에 근래에 가장 많이 이용되고 있다.

증착 공정을 통해 형성된 박막은 회로들간 전기적 신호를 연결해 주는 전도층(금속막)과 내부 연결층을 전기적으로 분리하거나 오염원을 차단해주는 절연층으로 구분된다. 그런데, 반도체가 전기적인 성질을 띠게 하려면 증착막에 이온을 주입하는 작업공정이 있어야 한다.

이온주입 공정(Ion implantation)은 반도체에 전기적 성질을 띠는 수많은 입자들을 회로패턴과 연결된 영역에 주입시키는 공정이다. 이때 이온이라 함은 붕소(B, boron), 인(P, phosphorus), 비소(As, Arsenic), 포스핀(PH₃, phosphine) 등과 같은 불순물을 말하는데, 이와같은 불순물을 아주 작은 가스입자로 만들어 설계된 깊이만큼 웨이퍼 전체 표면에 균일하게 넣어주어 일정한 전도성을 갖도록 하는 공정이다. 이러한 불순물 주입은 고온의 전기로 속에서 입자를 웨이퍼 내부로 확산시켜 주입하는 방식으로 확산(Diffusion) 공정에서도 이루어진다. 그러나, 지금은 이온 주입방법으로 확산에 의한 방법은 거의 사용되지 않고 있다.

지금은 이온 주입방법으로 임플란터(implanter) 방식을 주로 사용한다. 이온을 가속시켜 입자로 만들어 웨이퍼 내부에 깊숙히 주입하는 역할을 하는 것이 임플란터로 입자가속기이다. 이온 임플란터(Ion implanter)는 원자력안전법 제 65조 1항 및 같은법 시행령 제 194조 의거 방사선발생장치 사용 신고 장비로서, 최대전압 170KV 이하이고 표면방사선량률 10 μ Sv 이하의 조건을 만족하는 자체 차폐된 방사선발생장치이다. 또한, 장비 매뉴얼에도 정상가동 중에 이온 임플란터의 바닥을 제외한 모든 기기표면으로부터 X-선의 표면선량률(surface radiation dose rate)이 0.6 μ Sv/hr 미만(<0.06 mrem/hour)으로 제조되었다는 반도체장비 국제 규격인증인 SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) 기준에 따르고 있다. 이온 임플란터는 주입량의 형태에 따라 High Energy, High Current 및 Medium Current 등으로 구분할 수 있다.



〈출처: [https://www.axcelis.com/HE implanter](https://www.axcelis.com/HE_implanter)〉

[그림 Ⅲ-11] 이온 임플란터 입체도면

나) 유해·위험요인

증착공정의 경우도 사업장의 제조공정 특성에 따라 사용하는 화학물질에 조금씩 차이가 있을 수 있다. CVD 공정에서는 디클로로실란(SiH_2Cl_2 , dichloro silane), 삼불화질소(NF_3 , nitrogen trifluoride), 아산화질소(N_2O , nitrous oxide), 오존(O_3 , ozone), 실란(SiH_4 , silane), 사불화규소(SiF_4 , silicon tetrafluoride), 테트라에틸 규산염광물[$\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, tetraethyl orthosilicate(TEOS)], 트리메틸보레이트[$\text{B}(\text{OCH}_3)_3$, trimethyl borate(TMB)], 육불화텅스텐(WF_6 , tungsten hexafluoride) 등과 같은 화학물질이 사용되는 것으로 조사되었고 PVD 공정에서는 박막을 형성하는 과정으로 스퍼터링(sputtering)과 전자빔 등의 방식을 사용하는데, 사용하고 있는 화학물질로는 암모니아(NH_3 , ammonia), 삼불화염소(ClF_3 , chlorine trifluoride), 디보란(B_2H_6 , diborane), 수소(H_2 , hydrogen), 삼불화질소(NF_3 , nitrogen trifluoride), 실란(SiH_4 , silane), 사염화티타늄(TiCl_4 , tetrachloro titanium), 육불화텅스텐(WF_6 , tungsten hexafluoride) 등이 있다.

증착공정의 안전상 위험요인으로는 정비작업에서 회전 또는 움직이는 기계 설비 등에 접촉, 끼임 등으로 인한 안전 사고위험, 증착 챔버에서 유지보수 작업을 수행하기 위해 사다리 사용시 추락 위험, 전기 장비 또는 배선으로 인해 감전 등과 같은 전기적 위험이 수반될 수 있다. 그리고 챔버와 같은 밀폐된 공간에서의 작업은 산소 고갈, 독성 가스 축적 등으로 질식 위험이 있고 유지보수 작업에는 고온 장비와 인화성 물질을 취급하는 작업이 존재하므로 화재 및 폭발 위험이 발생할 수 있다. 또한, 정비작업중 작업장 바닥에 폐액 등으로 인한 미끄러짐, 배관 및 부품 등 운반시 넘어짐, 뜨거운 표면으로 접촉으로 인한 화상 위험이 발생할 수 있다.

이온주입공정은 반도체에 전도성을 주기 위해 불순물을 주입하는 공정으로 대표적으로 아르신⁹⁾(AsH_3 , arsine), 삼불화붕소(BF_3 , boron trifluoride), 포

9) 동의어 : 비소화수소

스핀(PH₃, phosphine) 등이 사용된다. 대부분의 공정이 화학물질에 의한 노출위험이 상존하는 반면, 이온주입공정은 타공정과 다르게 물리적인자로 전리방사선(엑스선)의 노출위험이 추가된다. 캐비넷 타입의 이온 임플란터의 경우 전체 표면에서 측정한 표면방사선량¹⁰⁾이 원자력안전위원회에서 고시한 기준(10.0 $\mu\text{Sv/hr}$)을 초과해서는 안되도록 규정하고 있다.

이온주입공정의 안전상 위험요인으로는 임플란터 공정에서 사용하는 고전압 전기 시스템은 감전, 전기 아크의 발생 가능성이 있으며 아크는 인화성 또는 폭발성 물질이 있는 환경에서 화재 또는 폭발 위험을 초래할 수 있다. 포스핀은 도펀트 가스로 일반적으로 사용되며 폭발성, 부식성, 인화성 등이 강한 가스이다. 정비작업에서 회전 또는 움직이는 기계설비 등에 접촉, 끼임 등으로 인한 안전 사고위험, 임플란터에서 유지보수 작업을 수행하기 위해 사다리 사용시 추락 위험 등이 발생할 수 있다.

연마(chemical mechanical polarization, CMP)공정은 웨이퍼 표면의 산화막 등을 물리화학적 방법으로 연마하여 평탄화 시켜주는 공정으로 연마액(slurry)과 불화수소산(HF, hydrofluoric acid), 염산(HCl, hydrochloric acid), 질산(HNO₃, nitric acid) 등이 사용된다. 연마액의 성분에는 비결정형 실리카, 산화세륨(IV)(CeO₂, cerium oxide), 암모니아수(NH₄OH, ammonium hydroxyde), 수산화 칼륨(KOH, potassium hydroxide) 등이 사용되고 있다.

(6) 금속 배선 공정

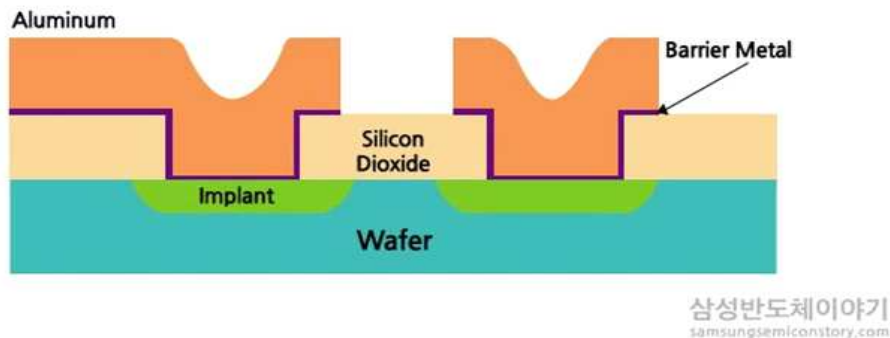
가) 공정 설명

반도체 제품에는 기본 소자들이 수억개에서 수천억개씩 들어 있는데, 이 소자들을 작동시키고 각각의 신호가 섞이지 않고, 잘 전달되도록 배선을 연결하는 작업을 금속 배선 공정(Metal interconnect)이라고 한다. 즉 반도체의

10) 표면방사선량 : 신체 접촉이 가능한 방사선기기의 표면으로부터 10센티미터의 거리에서 측정한 방사선량(방사선기기의 설계승인 및 검사에 관한 기준, 원자력안전위원회고시 제2021-3호)

회로패턴을 따라 전기가 흘러가는 통로(길), 즉 금속선(Metal Line)을 이어주는 공정을 말한다. 최종적으로 전기를 통하게 하는 마지막 작업이라고 할 수 있다.

금속 배선공정에서 재료로 쓰이는 대표적인 금속에는 알루미늄(Al, aluminum), 티타늄(Ti, titanium), 텅스텐(W, tungsten) 등이 있다. 알루미늄은 실리콘 산화막(Silicon Dioxide)과의 부착성 및 가공성이 좋다는 장점이 있다. 고진공 상태에서 알루미늄을 증기화하여 부착시키기 때문에 이 공정을 진공증착(evaporator)이라고도 하는데, 최근에는 플라즈마를 이용한 스퍼터링 방식의 물리적 기상증착 방법이 많이 사용되고 있다. 점점의 크기가 작은 경우에는 보다 균일하게 얇은 막을 형성해 붙이기 위해 텅스텐을 이용한 화학적 기상증착 방법(CVD)을 통해 배선작업이 진행된다. 또한, 최근에는 지금까지 사용되던 전도성 재료(Al, W)보다 가격은 싸고 전기적 성질은 더욱 우수한 구리(Cu)가 첨단 메모리, 중앙처리장치(central processing unit, CPU) 및 로직(Logic) 제품에 상용화되고 있다.



삼성반도체이야기
samsungsemiconstory.com

〈출처 : Samsung Semiconductor Newsroom〉

[그림 Ⅲ-12] 금속배선 공정

나) 유해·위험요인

금속배선공정은 알루미늄, 텅스텐 등의 금속입자를 기판에 물리적으로 증착시키는 방법으로 흔히 진공상태에서 표적(Target)으로부터 금속 입자 등을

웨이퍼에 입히는 방법이 사용된다. 스퍼터링 방식의 경우 플라즈마 형성을 위해 아르곤과 산소가 사용되며 금속증착을 위한 표적물질로는 구리, 알루미늄, 몰리브덴, 인듐아연산화물(IZO, indium zinc oxide), 인듐주석산화물(ITO, Indium tin oxide), 티타늄 등이 사용되며 세정제로 에탄올이 사용되고 있다.

(7) EDS(Electrical Die Sorting) 검사 공정

가) 공정 설명

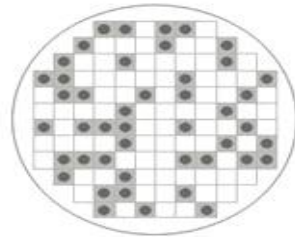
전기적 특성에 대한 검사를 통해 웨이퍼 상태인 각각의 칩들이 원하는 품질레벨에 도달하는 지를 검사하는 공정이다. EDS 검사를 실행해야 하는 이유는 웨이퍼 제조 설계 및 공정상의 문제점을 조기에 발견하여 설계 및 공정 팀에 피드백을 주기 위함이다. 검사공정은 다음과 같은 공정으로 세분화될 수 있다.

- ET Test & WBI (Electrical Test & Wafer Burn In) : 개별소자들 (트랜지스터, 커패시터, 저항, 다이오드)에 대해 전기적 전압, 전류특성의 파라미터를 검사하여 작동여부를 판별하는 공정
- Pre-Laser (Hot/Cold) : 전기적 신호를 통해 웨이퍼 위의 각각의 칩(chip)들이 정상 작동되는지 이상이 있는지를 판정하는 공정
- Laser Repair & Post Laser : 수리가 가능한 것으로 판정된 칩들을 모아 레이저 빔(Laser beam)을 이용해 수리하는 공정
- Tape Laminate & Back Grinding : 테이프 라미네이트(Tape Laminate) 공정과 백 그라인딩(Back Grinding) 공정은 여권이나 교통카드에 들어가는 IC 카드를 비롯해 두께가 얇은 제품을 조립할 때 필요한 공정
- Inking : 전 레이저(Pre Laser) 및 후 레이저(Post Laser)에서 발생된 불량 칩에 특수 잉크를 찍어 육안으로도 불량 칩을 식별할 수 있도록

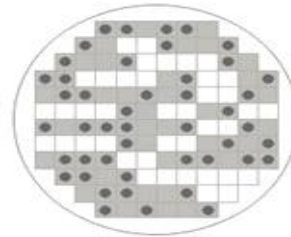
만드는 공정

수율(Yield)이 높을수록 생산성이 높다는 뜻이므로 반도체 생산라인에서는 수율을 최대한 높이는 것이 중요하다.

$$\frac{\text{실제 생산된 정상 칩 수}}{\text{설계된 최대 칩 수}} \times 100 = \text{수율(Yield)}$$



(a) 약 60% 수율



(a) 약 30% 수율

〈출처 : Samsung Semiconductor Newsroom〉

[그림 III-13] EDS 검사공정에서의 수율

나) 유해·위험요인

금속배선 공정은 후면연마(back grind)시 물, 비정질실리카, 암모니아수 등으로 구성된 연마제를 사용하고 있다.

(8) 패키징(Packaging) 공정

가) 공정 설명

전공정인 가공공정을 통해 완성된 웨이퍼의 반도체 칩은 하나씩 하나씩 날개로 재단하는데, 이렇게 재단한 칩을 다이(die) 또는 베어칩(bare chip)이라고 한다. 패키징(Packaging) 공정은 반도체 칩이 외부와 신호를 주고 받을 수 있도록 통로(길)을 만들어주고 다양한 외부환경으로부터 안전하게 보호받을 수 있는 형태로 제작하는 과정을 말한다.

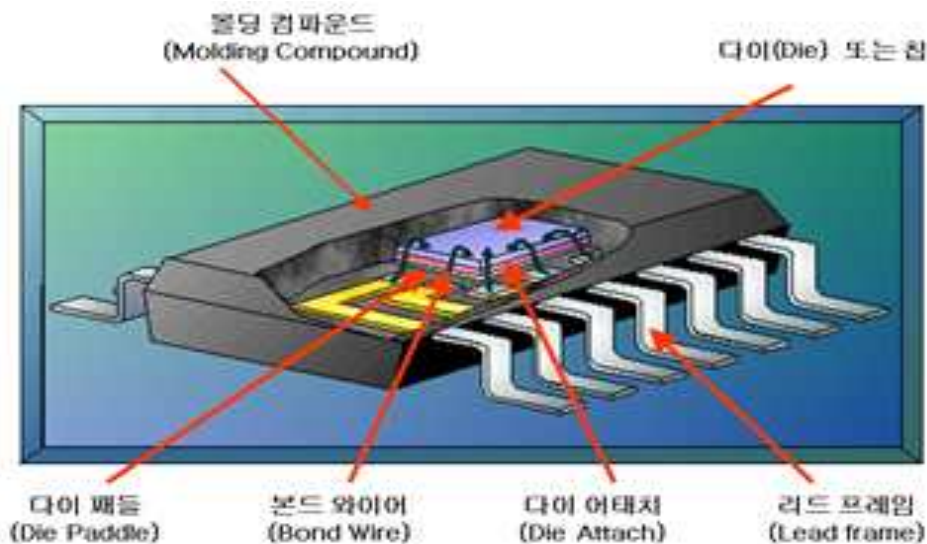
- 웨이퍼 절단(Wafer Sawing): 웨이퍼의 스크라이브 라인(Scribe line)을 따라 레이저 광선이나 다이아몬드 톱을 이용해 절단
- 칩 접착(Die attach): 재단된 칩들은 PCB(Printed Circuit Board) 또는 리드프레임(Lead Frame) 위에 옮겨, 반도체 칩과 외부회로 간 전기신호를 전달하고, 외부환경으로부터 칩을 보호, 지지되도록 배치(고

온사용 175℃)

- 금선 연결: 반도체의 전기적 특성을 위해 기판 위에 형성된 반도체 칩의 접점과 기판의 접점을 가느다란 금선을 사용하여 연결하는 공정으로, 와이어본딩(Wire Bonding) 및 플립칩(Flip Chip) 패키지 작업 수행
- 성형(Molding): 금선 연결이 끝난 반도체 칩을 열, 습기 등의 물리적인 환경으로부터 보호하기 위해 화학 수지로 밀봉하는 공정(175~185℃)

회사에 따라 패키지(Package)공정은 몰드(mold) 공정, 솔더볼 부착(solder ball attach) 공정, 인쇄(marking) 공정 등으로 구성되기도 한다.

패키징 공정이 끝나면 반도체 제품의 불량유무를 선별하는 포장 검사(Package Test)를 최종 수행한다.



〈출처 : SK하이닉스 뉴스룸〉

[그림 III-14] 패키징(Packaging)

나) 유해·위험요인

웨이퍼 절단과정에서 계면활성제가 사용되며 계면활성제는 물, 폴리옥시에틸렌($C_{2n}H_4N^{+2}ON^{+1}$, polyoxyethylene), 폴리에틸렌글리콜($C_{2n}H_4N^{+2}ON^{+1}$, polyethylen glycol) 습식제 등으로 구성되고 칩 접착(die attach) 공정에서 사용하는 접착제 성분에는 에폭시수지(Epoxy resin), 은(Ag, silver), 실리카(주로 비결정), 아크릴수지(Acrylic resin), 경화제(페놀계, 아민계 등), 희석제로 아세톤(C_3H_6O , acetone) 등의 용제를 사용한다. 그리고 금선연결 시에는 금 이외에 구리나, 알루미늄 등이 사용된다.

성형공정의 EMC (epoxy molding compound)는 보통 에폭시수지(epoxy resin), 페놀수지(phenolic resin), 삼산화안티몬(Sb_2O_3 , antimony trioxide), 카본블랙(C, carbon black), 실리카(SiO_2 , silica, 보통은 비결정) 등으로 구성되어 있다. EMC의 구성 성분인 페놀수지의 경우도 페놀과 포름알데히드의 고분자(polymer)이다. 그러므로, 공정가동시에는 페놀(C_6H_6O , phenol), 포름알데히드(CH_2O , formaldehyde), 기타 방향족 화합물이 발생될 수 있다.

(9) 반도체공정에 사용되는 가스

일반적으로 반도체 산업에 사용되는 가스(Gas)는 약 40여개로, 이들을 분류하면 크게 수소 및 수소화합물계, 할로젠 및 할로젠화합물계, 기타 산화성, 반응성 및 불활성 가스 등으로 [표 III-1]과 같이 분류할 수 있다.

반도체 제조공정에서 특히 위험성이 있는 가스를 사용하는 공정은 CVD(Chemical Vapor Deposition), 추가성장¹¹⁾(Epitaxial growth), 도

11) 반도체 제조에 투입되는 실리콘 웨이퍼의 경우 초순수 웨이퍼, 불순물(P/N Type) 웨이퍼, 공정이 추가된 에피택셜 웨이퍼(Epitaxial Wafer) 등으로 구분되는데, 그중 P-Type으로 도핑된 실리콘 웨이퍼가 가장 보편적으로 사용된다. 그런데, 일반적인 증착방식은 비결정질막이기 때문에, 이것을 결정질 구조로 하려면 에피택셜 그로스(Epitaxial Growth) 과정이 필요하다. 이는 Seed 웨이퍼를 밑에 깔고 격자 방향을 유지하면서 단결정(한 종류로 된 결정 전체가 일정한 결정축을 따라 규칙적으로 생성된 고체)으로 성장해 추가로 새로운 층을 쌓아 올린다는 의미이다.

핑(Doping) 및 식각(Etching) 공정 등을 들 수 있다. CVD란 기상속의 열분해, 가수분해, 산화 등의 화학반응을 거쳐 기판에 단결정 반도체나 절연막(SiO_2 , Si_3N_4 , Al_2O_3)을 형성시키는 방법으로 CVD공정에서 사용되는 가스(Gas)에는 실란(SiH_4 , silane), 삼염화실란(SiHCl_3 , trichlorosilane) 및 사염화규소(SiCl_4 , silicon tetrachloride) 등이 있다. 특히 실란은 직접 공기 중에 유출되면 자연발화하고 분해는 발열반응이기 때문에 분해폭발의 위험성이 있다. 공기 중에서 실란의 폭발한계는 상온상압에서 0.8 ~ 98%인 것으로 알려져 있다.

〈표 III-1〉 반도체 산업에 사용되는 가스(Gas)의 특징

구분	가스명	특징
수소 및 수소화합물계	수소(H_2), 모노실란(SiH_4), 디실란(Si_2H_6), 포스핀(PH_3), 아르신(AsH_3), 디보란(B_2H_6), 게르만(GeH_4), 스티빈(SbH_3), 세렌화수소(SeH_2), 텔루르화 수소(TeH_2)	1. 착화에너지가 작아 연소하기 쉽다. 특히 실란(SiH_4), 디보란(B_2H_6)은 착화원이 없어도 자연발화가 가능
할로겐 및 할로겐 화합물계	불소(F_2), 염소(Cl_2), 염화수소(HCl), 불화수소(HF), 트리클로로실란(SiHCl_3), 규소염화물(SiCl_4), 사불화규소(SiF_4), 인산염화물(POCl_3), 삼염화인(PCl_3), 사불화인(PF_4), 붕소염화물(BCl_5), 삼불화붕소(BF_3), 삼염화비소(AsCl_3), 사불화탄소(CF_4), 사염화탄소(CCl_4), 사불화탄소(CF_4), 육불화탄소(C_2F_6), 삼불화질소(NF_3), 육불화황(SF_6), 육불화텅스텐(WF_6), 삼불화메탄(C_2ClF_3), 클로로트리플루오르메탄(CClF_3)	1. 물과 반응하여 수소를 발생시킴 2. 분해성이 강함 3. 부식성이 강하여 수분과 함께 가수분해를 일으켜 산성을 나타냄 4. 인체에 자극성이 강함
기타	오존(O_3), 질소(N_2), 아르곤(Ar), 헬륨(He), 이산화탄소(CO_2), 암모니아(NH_3), 이산화질소(NO_2)	1. 산화성 : O_3 , N_2O 2. 반응성 : CO_2 , NH_3 3. 불활성 : N_2 , Ar , He

2) OLED 디스플레이 제조공정 개요

OLED(Organic Light Emitting Diode)는 두 개의 전극사이에 유기물을 배열하고 전압을 인가하면 빛이 방출되는 유기재료를 이용하여 색과 빛을 표현하는 자체발광형 디스플레이다. 별도의 광원이 필요한 기존의 LCD(Liquid Crystal Display)와 달리 OLED 디스플레이는 백라이트(Backlight) 및 액정(Liquid Crystal)이 필요 없으므로 얇고 가볍게 구현 가능하며 플렉서블 디스플레이에 적합하다. 또한, OLED 디스플레이는 응답속도와 색 재현율이 높아 자연스러운 영상을 구현할 수 있는 등 기존의 디스플레이와 차별화된 성능을 갖추고 있다. 이러한 특징으로 인해 OLED 디스플레이는 스마트폰을 포함하는 중소형 장치(Device)에 빠르게 적용되고 있으며 웨어러블 장치, 프리미엄 TV 등의 적용 분야가 점진적으로 확대되고 있다.

〈표 III-2〉 OLED 및 LCD 디스플레이의 주요 특징 비교

구분	OLED	LCD
장점	- 구조적으로 두께가 얇음. - 플렉시블(flexible) 디스플레이 구현에 적합 - 높은 명암비(real black 구현 가능) - 선명한 색감 표현 - 빠른 응답속도와 넓은 시야각 - 전력소모가 적음.	- 고휘도(밝기) 표현능력 우수 - 번인(burn-in)¹²⁾ 현상 적음. - 기술성숙도 높음. - 낮은 가격
단점	- 상대적으로 대형화가 어려움. - 번인(burn-in)에 상대적으로 취약 - 유기물 특성상 상대적으로 수명이 짧음. - 높은 가격	- 상대적으로 두께가 두꺼움. - 플렉시블 디스플레이 구현 어려움. - 낮은 명암비(빛샘현상 발생) - 느린 응답속도(화면전환시 잔상 발생) - 좁은 시야각

〈출처: 한국무역보험공사 산업동향보고서, 2019〉

12) 번인(burn-in)이란 오랜시간 조명이거나 태양을 본후 다른 곳을 쳐다보면 눈에 잔상이 남는 것처럼 장시간 같은 화면을 쳐두거나 고정된 이미지가 화면에 계속 노출되면 그 부분의 색상이 제대로 표현되지 않거나 얼룩이 남는 것을 말한다.

OLED는 양극과 음극 사이에 유기 박막이 적층되어 있는 구조로 형성되며, 양극은 정공 수송층(Hole Transport Layer, HTL), 음극은 전자 수송층(Electron Transport Layer, ETL), 유기 박막은 발광층(Emission Material Layer, EML)의 역할을 한다. 따라서 OLED에 전압을 인가하면 양극에서는 정공이 수송되고 음극에서는 전자가 수송되어 각각 유기 박막으로 주입된다. 주입된 전자와 정공은 유기 박막 내에서 재결합(recombination)하여 빛을 생성한다. OLED는 유기 박막에서 빛이 생성되어 방출되기 때문에 소자 자체가 발광체가 되는 자기발광(self-emissive) 소자이며, 전기적인 신호가 빛으로 변환되는 시간이 짧고 발생된 빛은 방향성이 없고 균일하게 퍼져 나간다. 발광층의 재료에 따라 OLED 소자의 색을 결정할 수 있으며 디스플레이 및 조명용 광원 등으로 활용될 수 있다.

OLED 디스플레이 산업은 설비 투자 중 장비 투자 비중이 60% 이상이며, 규모의 경제와 생산비용 효율화를 위해 대규모 생산 설비 투자의 중요도가 두드러지는 대규모 장치 산업이다. OLED 디스플레이 산업은 OLED 디스플레이 패널업체를 중심으로 하는 전방산업과 부품소재 및 장비산업구조를 가지는 후방산업으로 구분된다. 패널업체에서 생산된 OLED 모듈은 PC, 스마트폰, TV 등의 전방산업 업체에 공급되고 패널업체는 OLED의 생산을 위해 자동화 설비업체를 통해 생산공정을 건설하고, 증착기, 봉지장비, 검사장비 등 업체로부터 생산장비를 구축하며, 유리기판, OLED 재료, 부품 업체 등으로부터 발광재료, 유리기판, 구동집적회로(Driver Integrated Circuit) 등을 납품받아 패널을 생산한다.

OLED 디스플레이의 주요 발광소자는 유기물과 금속으로 이루어져 있으며, 이는 물과 산소에 매우 민감한 물질이므로 공기와 접촉시 불량이 발생된다. 따라서 OLED 소자의 제조공정은 공기 중에 오랜 시간 노출되지 않는 환경에서 수행되어야 하며, OLED 소자의 형성 후에는 밀폐를 통해 외부의 영향을 받지 않도록 캡슐화되어야 한다. OLED는 발광구조에 따라 TFT(Thin Film Transistor) 기판 방향으로 빛을 방출하는 배면발광(Bottom Emission) 방

식과 TFT 기판 반대 방향으로 방출하는 전면발광(Top Emission) 방식으로 구분할 수 있다. 배면발광 방식은 TFT 기판 방향으로 빛이 방출되므로 발광 면적에 있어 TFT 면적만큼 손실이 발생한다. 따라서 동일한 휘도를 구현하기 위하여 더욱 많은 전류가 필요하므로 전력소모가 크고 OLED 수명이 저하되는 문제가 있다. 이러한 단점에도 불구하고 전면발광 방식의 공정상 어려움으로 인해 현재 OLED 디스플레이는 주로 배면발광 방식을 이용하고 있다.

OLED 디스플레이는 OLED 패널 부분과 구동회로(Driving Circuit)부분으로 나누어 구분할 수 있으며 제조공정은 TFT와 각종 배선을 연결하는 백플레인 공정, 빛을 내는 화소를 형성하는 OLED 픽셀(Pixel) 공정, 소자보호를 위한 봉지(Encapsulation) 공정 및 구동부를 조립하는 모듈(Module) 공정으로 구성된다. 또한, 기판이 유리기판 또는 플렉시블 기판이냐에 따라 약간 차이가 있다.

〈표 III-3〉 TFT의 종류

구분	비결정질 실리콘 (a-Si)	다결정 실리콘 (LTPS)	산화물(IGZO)*	LTPS+Oxide
전하이동도	1	100	10	-
마스크수	4~5	9~11	4~5	11~13
적용분야	보급형LCD 스마트폰	스마트폰	TV	스마트워치, 스마트폰
특징	공정 단순	대형화 곤란	대형화 용이	전력 개선

* IGZO : In+Ga+Zn+O

(1) 백플레인(Backplane) 공정(TFT 공정)

가) 공정설명

OLED 디스플레이의 구조를 기능별로 구분하면 발광부, 발광부에 전원을 인가하는 TFT(Thin Film Transistor), TFT와 발광부를 쌓아 올리는 기판으로 구분할 수 있다.

OLED 제조공정의 기판은 연성 또는 강성이냐에 따라 폴리이미드(Polyimid, PI) 기판 또는 유리기판을 사용한다. 핸드폰과 같은 소형 전자제품은 플렉시블 기판을 사용하여 만든다. 플렉시블 제조공정에서는 딱딱한 유리기판위에 폴리이미드 기판을 올려놓고 작업이 이루어지므로 마지막에 유리기판을 제거하는 박리작업이 필요하다.



〈출처: 삼성디스플레이 뉴스룸〉

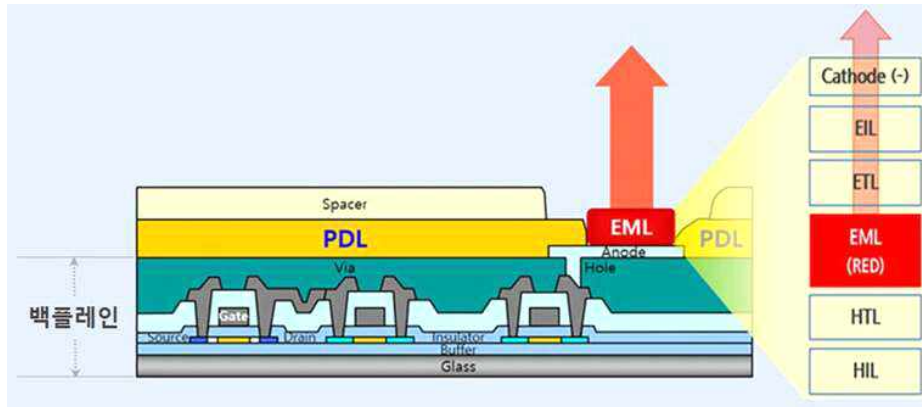
[그림 III-15] 강성 및 연성 OLED 디스플레이의 제조공정 구조

그러므로, 폴리이미드 기판을 사용한 제조공정은 TFT공정 이전에 폴리이미드 도포 및 경화공정이 선행된다.

백플레인(Backplane)은 기판상에 TFT(Thin Film Transister) 소자가 올려진 구조를 의미한다. TFT는 셀에 인가된 전류의 흐름을 제어하는 전기적 스위치 역할을 하는 반도체 소자로 기판위에 증착(Deposition) 및 패터닝(Patterning)공정을 통해 Gate전극, 절연체막 및 반도체막, Data전극, 보호막, 화소전극 등을 형성해 나가는 과정이다. OLED 디스플레이 제작을 위하여 가장 먼저 기판상에 TFT 전극 및 절연층을 형성하는 백플레인 공정을 수행한다. 백플레인 공정은 LCD제조공정의 TFT 공정처럼, 세정/건조, 포토(PR코팅, 노광, 현상), 식각, 증착, 박리(Stripping) 공정 등을 포함한다. 먼저 세정공정에는 OLED를 제작할 유리기판(ITO, 절연층, 음극분리)에 묻어 있는

입자들을 제거하기 위하여 푸딩(pudding)이나 초음파(ultra sonic)처리를 해 준 다음 탈이온수[DI(deionized) water]로 세척하고 적외선/자외선(IR/UV) 광원을 조사시켜 고온에서 완전히 건조시킨다. 포토공정에서는 스핀 코팅 기법을 사용하여 포토레지스트(photoresist, PR) 소재의 얇은 층을 기판에 도포하는 PR코팅공정, 포토레지스트 층에 마스크 패턴을 그려내기 위해 빛(자외선)에 노출시키는 노광공정, 포토레지스트의 노출된 부분을 제거하여 포토레지스트 층을 남기게 하는 현상공정으로 나누어지고 식각 공정에서는 습식(wet) 방식과 건식(dry) 방식으로 나누어지는 데, 습식방식은 주로 액체(liquid)상태의 화학물질(chemical)을 사용하는 모든 종류의 식각을 의미하며, 건식방식은 플라즈마를 이용한 모든 식각을 말하는데, 현상과정에서 형성된 포토레지스트층의 패턴을 통해 선택적으로 제거해내는 공정이다. 증착공정은 열 증발, 스퍼터링(물리적 기상증착) 또는 화학적 기상증착(CVD)과 같은 다양한 증착 기술을 사용하여 유기층 및 전극과 같은 OLED 재료를 패턴화된 기판 위에 선택적으로 증착시키는 공정이다. 박리공정은 아직도 남아있는 포토레지스트나 오염물질을 제거하기 위해 화학용매 또는 산소 플라즈마를 사용하여 제거하여 OLED 소자만 남게 만든다.

OLED는 구동 방식에 따라 PMOLED(Passive Matrix OLED)와 AMOLED(Active Matrix OLED)로 구분된다. PMOLED는 가로 및 세로 라인별로 전압을 가하여 작동하는 OLED로 가격이 저렴하고 양산이 용이한 장점이 있으나, 섬세한 색상 구현과 대형화가 어려워 현재 거의 사용되지 않고 있다. AMOLED는 각각의 발광 소자마다 스위치를 붙여 제어할 수 있는 TFT가 부착되며, 기판상에 TFT 소자 및 절연층이 형성되는 백플레인 공정 후 유기재료가 증착된다.



〈출처: 삼성디스플레이 뉴스룸〉

[그림 III-16] AMOLED 디스플레이의 백플레인 구조

나) 유해·위험 요인

백플레인 공정에서 사용되고 있는 화학물질로는 세정공정에서 세정액으로 과거에 프로필렌글리콜모노메틸에테르[C₄H₁₀O₂, propylene glycol monomethyl ether(PGME)] 등이 사용되고 있었으나 최근에는 탈이온 수(Deionized water, 보통 DI라고 표현)를 많이 사용하며 공정에 따라서 자외선(ultraviolet, UV) 또는 플라즈마를 이용하여 세정작업을 하는 경우도 있다. 또한, 일부 제품의 경우 세정을 위해 불산용액을 사용하는 경우가 있다. 포토공정의 경우 노보락수지(Novolak resin), 아크릴수지(Acrylic resin), 기타 폴리머, 다기능 아크릴레이트(Multi-functional acrylate) 등을 감광액의 수지 또는 고분자물질로 사용하고 있었다. 그리고 감광액의 용매로는 프로필렌글리콜모노메틸에테르 아세테이트[C₆H₁₂O₃, propylene glycol monomethyl ether acetate(PGMEA)], 디에틸렌글리콜에틸메틸에테르(C₅H₁₂O₃, DEGEME or DEGMEE), 디프로필렌글리콜디메틸에테르(C₈H₁₈O₃, DPGDME), 메틸-3-메톡시프로피오네이트(C₅H₁₀O₃, MMP) 등을 사용하고 있으며 현상액으로는 수산화테트라메틸암모늄[C₄H₁₃NO, tetramethylammonium hydroxide(TMAH)] 수용액이 사용되고 있다.

증착공정은 물리적 기상증착의 경우는 스퍼터(Sputter) 방식을 많이 사용

하는데, 스퍼터 방식에서는 타겟(Target) 물질인 구리(Cu, copper), 알루미늄(Al, aluminum), 몰리브덴(Mo, Molybdenum), 몰리브덴-티타늄, 인듐주석산화물(인듐산화물과 주석산화물로 구성)이 사용되고, 플라즈마를 발생시키기 위한 가스로 아르곤과 산소를 사용하고 있다. 화학적 기상증착에서는 디보란(B_2H_6 , diborane), 불소(F_2 , fluor), 수소(H_2 , hydrogen), 삼불화질소(NF_3 , nitrogen trifluoride), 실란(SiH_4 , silane), 아르곤(Ar, argon), 암모니아(NH_3 , ammonia), 질소(N_2 , nitrogen), 포스핀(PH_3 , phosphine), 헬륨(He, helium) 등의 가스상 물질을 사용하고 있다. 포스핀의 경우에는 보통 수소에 1% 정도의 포스핀(phosphine)이 포함되어 있다.

식각공정은 습식식각에서는 질산(HNO_3 , Nitric acid), 질산제2철($Fe(NO_3)_3$, Iron(III) nitrate), 과산화수소(H_2O_2 , hydrogen peroxide), 옥살산($C_2H_2O_4$, oxalic acid), 불산(HF, hydrofluoric acid) 등이 사용되며 질산과 물이 혼합된 질산용액(Nitric acid solution), 옥살산과 물이 혼합된 옥살산용액(Oxalic acid solution) 등의 형태로 사용되고 있었다. 한편 건식식각 공정에서는 삼염화붕소(BCl_3 , boron trichloride), 염소(Cl_2 , chlorine), 수소(H_2 , hydrogen), 산소(O_2 , oxygen), 육불화황(SF_6 , sulfur hexafluoride) 등의 가스상 물질이 사용되고 있다. 그리고 포토공정 이후 잔류 오염물질을 제거하기 위한 박리용액으로는 N-메틸-2-피롤리돈(C_5H_9NO , N-Methyl-2-Pyrrolidone(NMP)), 2-(2-아미노에톡시) 에탄올($C_4H_{11}NO_2$, Aminoethoxyethanol), 디메틸아세트아미드($CH_3CON(CH_3)_2$, Dimethylacetamide(DMAc)) 등이 사용되고 있다.

백플레인 공정의 안전 및 보건상 유해·위험요인을 단위공정별로 요약하여 열거하면 다음과 같다.

〈세정/건조〉

- 화학물질 노출: 세척 공정에는 용제, 산, 염기 등의 화학물질 사용으로 노출 가능. 기판의 표면에서 오염 물질을 분해하고 제거하기 위해 계면활성제를 사용하거나 염산(HCl, hydrochloric acid) 또는 황산(H_2

SO₄, sulfuric acid)과 같은 묽은 산을 이용하여 기판의 표면에 잘 지워지지 않는 오염물질을 제거하는 데 사용할 수 있고 청소 후 기판 표면의 산성 잔여물을 중화하는 데 알칼리 용액인 수산화암모늄(NH₄OH, ammonium hydroxide) 및 수산화칼륨(KOH, potassium hydroxide) 사용 가능

- 전기적 위험: 청소 과정에 사용되는 장비에는 전력공급시스템과의 연결과정에서 발생할수 있는 감전 위험

〈포토〉

- 화학물질 노출: PR 코팅 공정에 사용되는 포토레지스트 재료, 포토레지스트, 현상액, 세정제 등 노광 공정에 사용되는 화학물질
- 전기적 감전 위험: PR 코팅 장비 등에는 감전 또는 감전의 위험이 있는 고전압 전기 부품이 포함 가능(노출 장비에는 고전압 전기 시스템이 포함 가능)
- 폭발·화재 위험: PR 코팅 공정에 사용되는 용제는 인화성 물질로 화재 및 폭발성 가능
- 협착 위험: 움직이는 기계부품. 모터, 펌프 등 움직이는 부품
- 열 위험: 노출된 장비는 작동 중에 고열 발생. 화상이나 열탈진의 위험

〈식각〉

- 화학물질 노출: 식각공정에 사용된 산/용제 등 화학물질에 노출 가능
- 전기적 감전 위험: 노출 장비에는 고전압 전기 시스템이 포함 가능
- 협착: 움직이는 기계부품. 모터, 펌프 등 움직이는 부품
- 열 위험: 노출된 장비는 작동 중에 고열을 발생시킬 수 있음. 화상이나 열탈진의 위험

〈증착〉

- 화학물질 노출: 유기 분자 및 금속 등과 같은 OLED 재료로부터 노출

발생

- 폭발·화재 위험: 진공 챔버에서 재료를 고온으로 가열하는 과정에서 잠재적인 화재 및 폭발 위험 가능성,
- 전기적 위험: 고전압 장비를 사용하므로 감전 위험

〈박리〉

- 화학물질 노출: 박리 공정에 사용되는 화학물질로부터 노출 발생 가능
- 전기적 위험: 스트리핑 장비는 전기로 구동됨.
- 기계적 위험: 스트리핑 장비의 움직이는 부품 및 장비로부터 협착 위험
- 폭발·화재 위험: 스트리핑 공정에 사용되는 화학물질은 가연성이며 열이나 스파크에 노출되면 발화 가능

(2) 화소 형성 공정(유기발광층 증착공정)

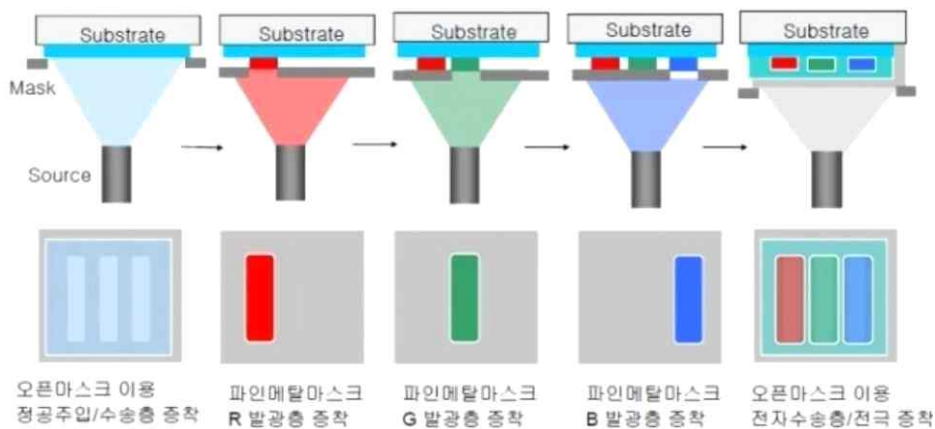
가) 공정설명

OLED 디스플레이 양산에 적용되는 화소 형성 공정은 반응성이 크고 물과 산소에 매우 취약한 유기물 및 금속을 기판상에 형성하기 위하여 외부 물질과의 접촉을 차단할 수 있는 진공 챔버(Chamber) 설비 안에서 진행된다. 화소 형성 공정을 위해 사용되는 진공 증착 공정을 살펴보면, 우선 저온폴리실리콘(Low Temperature Polycrystalline Silicon, LTPS) 위에 유기물층을 형성한다. 이후 양극, 정공 주입층 등의 유기물층을 순차적으로 증착한다. 유기재료의 특성상 화소 물질을 증착한 후 포토 리소그래피(Photo lithography)와 같이 공기 및 용매에 노출되는 공정을 수행할 수 없다. 따라서 OLED 화소 형성 공정은 증착과 동시에 패터닝이 이루어지는 것을 특징으로 한다.

유기발광층 증착공정은 발광층(EML)과 정공주입층(HIL), 정공수송층(HTL) 등 보조층을 포함한 유기물 층을 형성하는 공정으로 양극 위에 정공주입층에서 정공수송층으로 순서대로 증착해 정공이 지나가는 보조층을 형성해 나가게 된다.

OLED 디스플레이의 화소 형성 공정에 양산용으로 사용되는 대표적인 방

법은 FMM(Fine Metal Mask)을 사용한 진공 증착법이다. 구체적으로, FMM은 OLED 제조 공정에서 Red, Green, Blue 세 가지 컬러의 픽셀을 각각 패터닝 하는데 사용되는 장비이다. FMM은 수십 마이크로 두께의 금속 시트로 수백만 개의 작은 구멍으로 이루어져 있다. 따라서 FMM 장비를 사용해 OLED 화소를 형성하는 기법은 고해상도의 색상 구성 요소를 정확하게 증착할 수 있는 것으로 알려져 있다. 양극에서 시작하여 정공수송층, 정공주입층을 순서대로 증착해 전자가 지나가는 보조층을 형성시켜 최종적으로 음극을 증착해 나간다.



〈출처: 차세대 디스플레이 연구센터(ADRC) 홈페이지〉

[그림 III-17] FMM을 이용한 OLED 화소 형성 공정 흐름도

나) 유해·위험 요인

- 유해 화학물질 노출: 유기기상증착(Organic Vapor Phase Deposition, OVPD)에는 일반적으로 증착할 재료와 같은 유기 화학물질에 노출 가능
- 고온 위험: OVPD 증착에는 유기 물질을 기화시키기 위해 고온 소스를 사용하므로 화상이나 기타 부상의 위험
- 전기적 위험: OVPD 증착 장비는 일반적으로 고전압에서 작동하므로

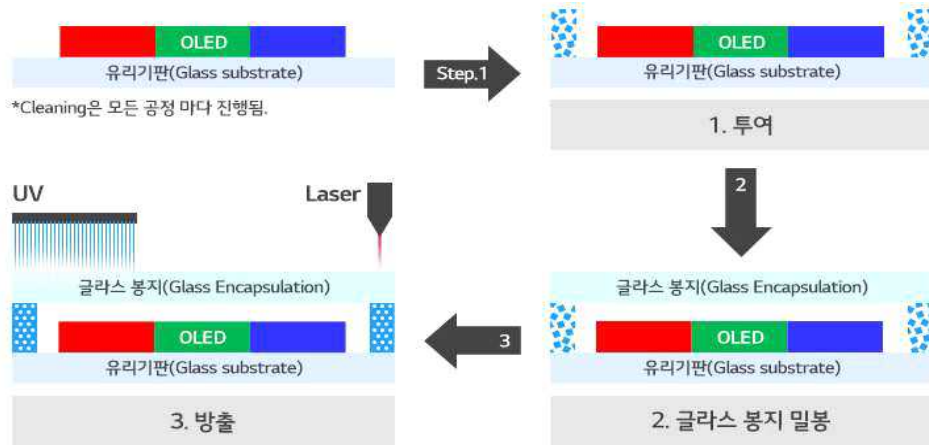
감전 위험

- 기계 위험: OVPD 증착 장비에는 펌프 및 증착 소스와 같이 움직이는 부품 등에 의한 부딪힘으로 부상 위험
- 화재 위험: OVPD 증착은 고온 소스와 유기 화학물질을 사용하므로 화재 위험

(3) 봉지(Encapsulation) 공정

가) 공정설명

봉지 공정은 산소와 수분에 매우 취약한 유기물과 금속이 외부의 영향을 받지 않고 오랫동안 사용될 수 있도록 ‘캡슐화’하는 공정을 의미한다. 산소가 OLED 패널의 틈 사이로 침투하게 되면 발광층 최상단의 음극 부위와 그 아래 전자 주입층 사이의 계면에 산화가 이루어져 음극과 전자 주입층이 서로 벌어진다. 이 경우, 전자가 원활하게 이동하지 못해 암점(Dead Pixel)이 발생하거나 픽셀 일부가 빛을 내지 못하는 현상이 나타난다. OLED 패널의 미세한 틈을 통해 수분이 침투할 경우 전기 화학적 반응에 의해 수분에 있던 수소가 산소와 분리되고 수소에 의해 버블이 형성된다. 발생한 버블은 음극층을 들뜨게 만들어 음극과 전자주입층 사이에서 전자의 이동을 어렵게 하고, 결과적으로 산소가 침투했을 때와 마찬가지로 암점이 발생한다. 암점은 한곳에서 여러 곳으로 퍼지는 경향이 있으므로 산소와 수분이 침투하지 않도록 봉지 공정을 수행하는 것이 필수적이다. 일반적인 Rigid OLED 봉지 공정은 유리와 패널층 사이에 유리재질의 원료(Frit)를 바르고 레이저로 녹인 후 경화시켜 글래스와 패널을 합착시킴으로써 수행된다. 따라서 윗부분의 글래스와 측면의 봉지를 통해 유기물들이 손상 없이 제 기능을 발휘할 수 있다. 그러나 Flexible OLED는 박막봉지(Thin Film Encapsulation, TFE)방식을 사용하여 유기막과 무기막을 반복적으로 증착하게 된다.



〈출처: OLED Encapsulation annual report, UBI Research, 2017〉

[그림 III-18] 봉지 공정 흐름도

나) 유해·위험 요인

- 화학물질 노출: 톨루엔($C_6H_5CH_3$, toluene), 자일렌(C_8H_{10} , xylene), 사이클로헥사논($C_6H_{10}O$, cyclohexanone) 등 캡슐화 공정에 사용되는 일부 용제와 금속 유기 화합물과 같이 캡슐화 공정에 사용되는 전구체
- 전기적 위험: 캡슐화 장비에는 감전 또는 감전의 위험이 있는 고전압 전기 부품이 포함.
- 기계적 위험: 캡슐화 장비에는 움직이는 부품이나 날카로운 모서리 등으로 협착 및 부상 위험

(4) 모듈 공정

가) 공정설명

OLED 디스플레이 마지막 공정으로 편광판, 구동칩, PCB(Printed Circuit Board) 등의 부품을 조립해 패널을 완성하고 필요한 크기와 형태에 맞게 레이저 등을 이용하여 절단한 후 라미네이팅, 본딩하는 공정이다.

나) 유해·위험 요인

- 전기적 위험: 테스트 장비에는 고전압 전기 시스템이 포함되어 있을 수 있으므로 감전의 위험 가능성
- 고온 위험: 테스트 장비는 작동 중에 열을 발생시킬 수 있으므로 이로 인해 화상이나 열 탈진의 위험
- 전리방사선: 일부 테스트 장비는 X-선과 같은 전리방사선을 사용하여 검사

3) LCD 제조공정 개요

액정표시장치(Liquid Crystal Display, LCD)는 다양한 세부공정으로 구성된 크게 두개의 생산라인(가공라인, 모듈라인)을 통해 제조된다. 가공라인(Fabrication, Fab)에서는 유리기판에 설계패턴을 완성하고 액정을 주입하여 합착하는 일련의 공정들이 수행되며, 모듈라인(Module)에서는 가공라인에서 완료된 LCD 패널에 편광판이나 광원 등을 부착하여 최종적으로 조립하는 일련의 공정이 수행된다.

(1) 박막트랜지스터(TFT) 공정

가) 세정 공정

(가) 공정설명

LCD 제조공정에서는 대분류 공정(TFT, CF, LC, Module) 단위로 세정공정이 있으며 각 대분류 공정별로 가장 처음 이루어지는 공정이 세정 공정이다. 박막트랜지스터(Thin Film Transistor, TFT) 공정에서의 세정공정은 다음에 진행되는 증착공정 전에 유리기판 상에 묻은 이물을 제거하는 공정이다. 세정 작업은 유리(glass)가 투입되면 먼저 자외선(ultraviolet, UV)를 이용하여 유기물질을 제거하는데 사업장에 따라서는 자외선(UV) 대신 AP 플라즈마(Atmospheric Pressure Plasma)를 이용하기도 한다.

(나) 유해·위험 요인

세정 공정에서는 여러 가지 화학물질이 사용될 수 있으나 TFT 세정 공정에서는 보통 탈이온 수(Deionized water, 이하 'DI'라고 한다)만을 사용하거나 사업장에 따라서는 0.4% 정도의 수산화테트라메틸암모늄($C_4H_{13}NO$, Tetramethyl Ammonium Hydroxide, TMAH) 용액을 이용하거나 아세톤을 사용하여 세정한 후 DI를 이용하여 마무리 세정을 한다.

사용 화학물질로는 수산화테트라메틸암모늄, 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르($C_4H_{10}O_2$, propylene glycol monomethyl ether, PGME), 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르 아세트산[$C_6H_{12}O_3$, propylene glycol monomethyl ether acetate, PGMEA], 폴리에틸렌글리콜트리메틸에테르($C_5H_{12}O_3$, polyethylene glycol trimethyl ether), 디 에틸렌글리콜모노부틸에테르($C_8H_{18}O_3$, Diethylene Glycol Monobutyl Ether), 계면활성제, 수산화칼륨(KOH, potassium hydroxide) 등이다.

물리적 인자로는 유기물 및 이물질 제거하는데 이용되는 자외선 또는 AP(Atmospheric Pressure) 플라즈마(Plasma)와 전기를 이용한 생산설비에서 발생하는 극저주파 자기장을 들 수 있다.

예방정비(Preventive Maintenance, PM) 작업 시 장비내의 잔류물질 또는 오염물질을 충분히 배출시키지 못한 상태에서 정비중인 설비의 챔버를 개방하면 오존(O_3 , ozone)과 같은 부산물이 외부로 누출 또는 확산되어 노출될 가능성이 있다.

안전상 위험요인으로서는 세척제 등이 바닥에 흘렀을 경우 정비작업중 미끄러짐, 배관 및 부품 등 운반시 넘어짐, 설비 및 기기 정비작업시 사다리 작업으로 인한 떨어짐 사고도 발생할 수 있다. 또한, 정비작업중 부품 세척, 청소 등으로 끼임사고가 발생할수 있으며 설비내부에서 청소작업시 시설물에 의해 부딪힘 사고가 일어날 수 있다.

나) 증착 공정

(가) 공정설명

증착(Deposition) 공정은 물리적 또는 화학적인 방법으로 유리기판위에 박막을 형성시키는 공정을 말한다. 증착공정에서는 물리적 방법 및 화학적 방법, 둘다를 사용하여 박막을 형성한다. 증착공정에서 물리적 방법에 의한 박막형성 작업은 스퍼터(Sputter) 방식에 의한 증착방법을 많이 이용하고 있다.

스퍼터 공정은 진공상태에서 몰리브덴(Mo, molybdenum), 알루미늄(Al, aluminum) 등과 같은 금속판에 플라즈마(아르곤, 산소와 같은 가스상 물질)에 에너지를 가하여 이온화된 상태의 기체)를 인가하여 금속입자를 유리기판에 증착시키는 공정이다. 스퍼터 장비는 제조사, 가공되는 유리기판의 크기, 스퍼터 방식 등에 따라 장비별로 차이가 있을 수 있다. 한편 화학기상증착(Chemical Vapor Deposition, CVD) 공정은 실란(SiH_4 , silane), 암모니아(NH_3 , ammonia), 포스핀(PH_3 , phosphine) 등의 화학물질들의 화학적 반응을 이용해 유리기판위에 박막을 형성하는 공정이다. CVD 공정에서는 실란, 암모니아, 삼불화질소(NF_3 , nitrogen trifluoride), 포스핀 등의 유해가스를 사용하는 이유로 공기정화시설에서 최종 처리되기 전에 1차 스크러버(Scrubber)에서 먼저 유해가스를 처리해 주고 있다. CVD 공정에서는 가스의 반응으로 박막을 형성하는데 이때 사용하고 남은 가스나 반응 부산물 등의 잔유물은 제거를 위해 진공 펌프에 의해 1차 스크러버로 보내지는데 1차 스크러버에서는 보통 800°C 내외의 온도에서 잔유물을 먼저 회화시킨 후 습식탱크(Wet tank)에서 수용성 가스를 처리한다.

(나) 유해·위험 요인

물리적 기상증착(Physical Vapor Deposition, PVD)공정에서는 인듐(In, indium), 주석(Sn, tin), 이산화티타늄(TiO_2 , titanium dioxide), 산화아연(ZnO , zinc oxide), 알루미늄(Al, aluminum), 구리(Cu, Copper) 등이 사용되며 화학기상증착(CVD) 공정에서는 유리기판 위에 얇은 박막형태의 절연막 또는 반도체막을 형성시키기 위해 실란(SiH_4 , silane), 삼불화질소(NF_3 , nitrogen trifluoride), 암모니아(NH_3 , ammonia), 포스핀(PH_3 , phosphine) 등의 화학물질들을 사용하고 있다.

여러 가스상 물질의 화학반응을 통해 다양한 부산물이 발생할 수 있는데, 수소(H_2 , hydrogen)를 비롯하여 염화수소(HCl , Hydrogen chloride), 불화수소(HF , Hydrogen fluoride) 등이 발생 가능하다. 스퍼터공정에서는 인듐 주석산화물(ITO, Indium tin oxide) 박막필름 코팅을 위해 갈륨이철($GaFe(III)$, gallium sesquioxide), 삼산화 디인듐(In_2O_3 , diindium trioxide), 산화아연(ZnO , zinc oxide), 주석디옥사이드(SnO_2 , Tin dioxide), 알루미늄(Al , aluminum), 몰리브데늄(Mo , molybdenum), 티타늄(Ti , titanium), 구리(Cu , Copper) 등이 사용되며 스퍼터가 작업중에는 진공상태를 유지하고 있어 인듐에 노출될 확률은 매우 적으나 ITO 타깃 교체 및 정비보수작업 등에서는 작업자가 인듐에 노출될 가능성 있다.

물리적인자로는 플라즈마(Plasma)를 사용하는 공정에는 라디오파(Radio Frequency, 이하 'RF'라 한다)를 사용해야 하므로 고주파 영역대의 RF 방사선과 전기를 이용한 생산설비에서 발생하는 극저주파(Extremely Low Frequency, 이하 'ELF'라 한다) 자기장(Magnetic Field)을 들 수 있다. 세계보건기구(World Health Organization, WHO) 산하 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 RF 방사선이 동물과 인간에서 암을 유발한다는 증거가 제한적이지만, RF 방사선을 "인간에게 발암 가능성이 있음(Possibly carcinogenic to humans(Group 2B))"으로 분류하였다(IARC, 2015). 이것은 휴대폰 사용과 특정 유형의 뇌종양 사이의 역학연구에서 가능한 연관성을 발견한 것을 토대로 한 것이다. 마찬가지로 IARC는 ELF 자기장에 대해서도 "동물실험에서 암에 대한 증거가 있음(2B)"으로 분류하고 있다.

증착공정의 안전상 위험요인으로는 정비작업에서 회전 또는 움직이는 기계설비 등에 접촉, 끼임 등으로 인한 안전 사고위험, 증착 챔버에서 유지보수작업을 수행하기 위해 사다리 사용시 추락 위험, 전기 장비 또는 배선으로 인해 감전 등과 같은 전기적 위험이 수반될 수 있다. 그리고 챔버와 같은 공간에서의 작업은 독성 가스 등으로 질식 위험이 있고 유지보수 작업에는 고온

장비와 인화성 물질을 취급하는 작업이 존재하므로 화재 및 폭발 위험이 발생할 수 있다. 또한, 정비작업 중 작업장 바닥에 세정액, 폐액 등으로 인한 미끄러짐, 배관 및 부품 등 운반시 넘어짐, 뜨거운 표면으로 접촉으로 인한 화상 위험이 발생할 수 있다.

다) 포토 공정

(가) 공정설명

LCD 제조공정에서 포토(Photolithography) 공정은 설계된 회로패턴을 유리기판에 완성하는 공정을 말한다. 포토공정에서는 감광 성질을 가지고 있는 감광액(Photoresist, PR)을 유리기판에 도포한 후, 마스크 패턴을 올려놓고 자외선(UV)를 조사하여 회로를 만든다. TFT 포토공정에서는 감광액을 도포하기 전에 먼저 유리기판의 이물질을 제거하는 세정공정이 있으며 탈이온수만을 사용하거나 추가로 UV 또는 플라즈마를 이용하여 이물질을 제거하고 있다. 한편 UV에 의한 노광전에 감광액을 유리기판에 도포하여야 하는데 작은 크기의 유리를 가공할 경우에는 스핀방식(회전하는 유리기판위에 감광액을 주입하여 고르게 도포)으로 도포를 하고 있으나 최근에 도입된 제조라인의 경우는 유리기판의 크기가 커서 스핀방식이 아닌 슬릿 코팅방식으로 포토레지스트(PR)을 도포하고 있다. 감광액을 도포한 후에는 사전 건조(Pre baking) 오븐에서 100℃ 내외로 가온하여 감광액의 용제성분을 휘발시킨다. 현재 포토공정에서 노광을 위해 사용하고 있는 자외선은 수은램프를 이용하여 발생시키며 파장의 범위는 300~450 nm이었다. 노광 후에는 수산화테트라메틸암모늄(TMAH)과 같은 현상액을 이용하여 회로패턴을 완성시킨다. 현상을 하는 장비는 하부에 부착된 롤러를 이용하여 유리기판을 이동시키면서 상부에서 현상액을 분사하는 구조로 되어 있다. 다음에는 현상이 끝난 유리기판은 감광액 성분을 경화시키기 위해 200℃ 내외의 고온 및 열풍으로 가열시키는 건조공정이 있다.

(나) 유해·위험 요인

포토리지스트 성분에 함유된 유기용제의 휘발로 인해 노출될 수 있고 현상액을 분사한 후 기판에 고르게 코팅하는 과정에서 휘발되는 유기용제 등에 노출될 수 있으며 용액을 보충하거나 PM작업을 위해 포토장비의 도어를 개방하는 경우 유기용제 등 잔류물질에 노출될 수 있다.

포토공정에서 취급하는 화학물질로는 노즐(Nozzle) 세정시 초산부틸($C_6H_{12}O_2$, n-butyl acetate), 메틸 3-메톡시 프로피오네이트($CH_3OCH_2CH_2COOCH_3$, methyl 3-methoxypropionate), 프로필렌 글리콜모노메틸 에테르($C_4H_{10}O_2$, propylene glycol monomethyl ether(PGME)) 등과 감광제인 디에틸렌글리콜 에틸메틸에테르($C_7H_{16}O_3$, diethylene glycol ethyl methyl ether), 메틸 3-메톡시 프로피오네이트, 벤질알코올($C_6H_5CH_2OH$, benzyl alcohol), 크레졸(C_7H_8O , cresol), 페놀(C_6H_6O , phenol), 포름알데히드 수지, 프로필렌 글리콜모노메틸에테르, 수산화테트라메틸 암모늄($C_4H_{13}NO$, tetramethylammonium hydroxide(TMAH)), 탈이온수 등이 있고 도포제인 헥사메틸 디실라잔¹³⁾($C_6H_{19}NSi_2$, hexamethyl disilazane(HMDS)), 정제 및 현상액인 탈이온수, 수산화테트라메틸 암모늄 등이다.

여러 장비의 세척, 청소, 부품 교체, 그 밖의 정비 및 보수작업 중에 잔류물질, 세척액, 폐액 등에 노출될 수 있고 자외선을 이용한 노광작업에서 수지나 감광성 물질의 분해로 인하여 오존 등과 같은 부산물에 노출될 수 있다.

물리적 인자로는 자외선을 방출하는 노광작업에서 방출되는 자외선(UV)이나 이물질 제거시 플라즈마 사용으로 인한 라디오파에도 노출될 수 있다. 그리고 정전기 제거용 이온나이저에서 발생하는 엑스선에 노출될 수 있는데 노출량은 설치대수의 수에 따라 달라질 수 있다. 또한, 전기를 이용한 생산설비에서 발생하는 극저주파 자기장에도 노출될 수 있는데, WHO 산하 국제암연구소(IARC)에서는 라디오파 및 극저주파 자기장에 대해서 "동물실험에서 암에 대한 증거가 있음(2B)"으로 분류하고 있다. 유리기판을 200℃ 내외의 열풍으로 고온 건조하는 과정에서 고열에 노출되거나 화상을 입을 수 있다.

13) 동의어 : 비스(트리메틸실릴)아민

안전상 위험요인으로서는 생산설비 및 기기 정비작업시 사다리 작업으로 인한 떨어짐, 수지 및 감광성물질 등이 바닥에 흘렸을 경우 정비작업중 미끄러짐, 배관 및 부품 등 운반시 넘어짐 사고로 이어질 수 있다. 또한, 정비작업중 설비내부에서 청소작업시 시설물에 부딪힘, 부품 세척 및 청소 등으로 끼임사고가 발생할 수 있다.

라) 식각 공정

(가) 공정설명

식각공정은 포토공정에서 형성된 설계패턴을 완성하기 위하여 산성용액이나 활성화된 가스를 이용하여 불필요한 부분을 부식, 제거하는 공정이다. 식각방법은 식각액(etchant)을 이용하여 식각하는 습식식각(Wet etch)과 반응성 가스를 이용하여 식각하는 건식식각(Dry etch)으로 나누어 진다. 일반적으로 금속박막의 경우는 습식식각 방식으로 제거하며 절연박막 등의 경우는 건식식각 방식으로 없앤다. 건식식각의 경우는 진공상태에서 고주파를 인가하여 활성화된 가스와 기판에 증착된 물질의 반응으로 증착막을 제거한다. 습식식각이 이루어지는 방식은 포토공정의 현상장비와 같이 식각장비 내부의 하단에 있는 롤러에 의해 이동하는 유리기판에 식각액을 분사하는 방식에 의해 식각이 이루어진다.

(나) 유해·위험 요인

습식식각공정에서 PM작업을 하거나 식각설비의 배관 등을 점검하는 과정에서 염산(HCl, hydrochloric acid), 불산(HF, hydrofluoric acid), 황산(H₂SO₄, sulfuric acid) 등 산 및 알칼리류에 노출될 수 있다. 절연막을 만들기 위해 플라즈마를 이용하는 건식식각(Dry etching)에서는 반응성 가스에 노출될 수 있다.

사용화학물질로는 습식에칭제로 5-아미노-1H-테트라졸(CH₃N₅, 5-amino-1h-tetrazole), 초산(CH₃COOH, acetic acid), 불화암모늄(NH₄HF₂, ammonium fluoride), 이플루오르화암모늄(F₂H₅N, ammonium bifluoride), 구연산¹⁴⁾

($C_6H_8O_7$, citric acid), 황산구리($CuSO_4$, cupric sulfate anhydrous), 과산화황산암모늄[(NH_4) $_2$ S_2O_8 , ammonium persulfate], 염화수소(HCl, hydrogen chloride), 메탄술폰산(CH_3O_3S , methanesulfonic acid), 질산(HNO_3 , nitric acid), 인산(H_3PO_4 , phosphoric acid), 황산나트륨(Na_2SO_4 , sodium sulfate), 황산(H_2SO_4 , sulfuric acid), 탈이온수 등이 사용되며, 건식에칭제로 삼염화붕소(BCl_3 , boron trichloride), 염소(Cl_2 , chlorine), 헬륨(He, helium), 산소(O_2 , oxygen), 육불화황(SF_6 , sulfur hexafluoride), 테트라 플루오로 메탄(CF_4 , tetrafluoromethane), 트리 플루오로 메탄¹⁵⁾(CHF_3 , trifluoromethane) 등이 사용된다. 부산물로는 오존(O_3 , ozone), 불화실란(silicon fluoride : SiF), 산소기체 등이 발생 가능성이 있다.

물리적 인자로는 플라즈마를 사용하기 위해 주파수를 증폭하거나 라디오파 발생기를 이용하게 되므로 라디오파에 노출될 수 있다. 그리고 해당공정에는 정전기 제거용 이온나이저가 설치되어 있는데, 선원이 엑스선으로 노출량은 설치대수의 수에 따라 달라질 수 있다. 또한, 전기를 이용한 생산설비에서 발생하는 극저주파(ELF) 자기장에도 노출될 수 있는데, 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)에서는 라디오파 및 극저주파 자기장에 대해서 "인간에게 발암 가능성이 있음 또는 동물실험에서 암에 대한 증거가 있음(2B)"으로 분류하고 있다.

마) 박리 공정

(가) 공정설명

박리공정은 식각공정에서 설계대로 완성된 유리기판에 아직도 남아있는 포토레지스트(PR) 성분을 제거해 주는 공정이다. 박리용액으로는 아미노에탄올¹⁶⁾(C_2H_7NO , ethanolamine)이나 아민화합물이 주로 사용된다. 박리가 이루어지는 방식은 포토공정의 현상장비나 식각공정의 습식식각 장비에서와 같

14) 동의어 : 시트르산

15) 동의어 : 삼불화메탄

16) 동의어 : 에탄올아민

이 장비 내부의 하단에 있는 롤러에 의해 이동하는 유리기판에 박리액을 분사하는 방식으로 이루어진다. LCD 공정의 천정에는 FFU(Fan filter unit) 설비가 설치되어 있는데 이것은 박리가 이루어지기 전에 유리기판에 입자상 물질 등 이물질을 제거하기 위해 필터로 걸러진 공기를 급기하는 설비이다.

(나) 유해·위험 요인

박리공정에서는 포토레지스트 성분을 박리 및 세정을 위해 사용되는 박리 용액으로 에틸렌글리콜($C_2H_6O_2$, ethylene glycol), 1-메틸-2-피롤리디논(C_5H_9NO , N-Methyl-2-pyrrolidone), 에탄올아민(C_2H_7NO , ethanolamine), N-메틸 포름아미드(C_2H_5NO , n-methylformamide), 아민화합물 등에 노출될 수 있다.

물리적 인자로는 60 Hz 상용주파수 대역의 전기설비에서 발생하는 극저주파 자기장에도 노출될 수 있는데, 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)에서는 극저주파 자기장에 대해서 "인간에게 발암 가능성이 있음 또는 동물실험에서 암에 대한 증거가 있음(2B)"으로 분류하고 있다.

(2) 컬러필터공정

가) 증착 공정

(가) 공정설명

증착방법에는 절연막 또는 반도체막을 형성하는 화학기상증착(Chemical Vapor Deposition, 이하 'CVD'라 한다)과 진공환경에서 고에너지를 이용하여 유리기판 위에 원하는 물질의 박막을 형성하는 물리적 기상증착(Physical Vapor Deposition, 이하 'PVD'라 한다)으로 나뉘어진다. PVD는 스퍼터링(Sputtering) 또는 전자빔 등의 방식이 있다.

컬러필터 공정의 증착공정에서는 인듐주석산화물(ITO, indium tin oxide) 및 크롬 타겟(Target)을 사용하여 스퍼터 방식으로 기판에 증착을 한다. 인듐주석산화물(ITO)는 투명전극으로 사용하는데 필요한 물질이고 크롬은 블랙매트릭스¹⁷⁾(Black Matrix, 이하 'BM'이라 한다)의 형성을 위해 사용

된다. 예전에는 포토공정에서 카볼블랙(carbon black)에 의한 유기 BM방식을 사용하기도 하였다.

(나) 유해·위험 요인

사용화학물질로는 PVD 공정에서 인듐(In, indium), 주석(Sn, tin), 이산화티타늄(TiO₂, titanium dioxide), 산화아연(ZnO, zinc oxide), 알루미늄(Al, aluminium), 구리(Cu, copper) 등이 사용되며 CVD 공정에서는 실란(SiH₄, silane), 삼불화질소(NF₃, nitrogen trifluoride), 암모니아(NH₃, ammonia), 포스핀(PH₃, phosphine) 등의 화학물질들을 사용하여 절연막 또는 반도체막을 형성한다. 여러 가스상 물질의 화학반응을 통해 다양한 부산물이 발생할 수 있는데, 수소(H₂, hydrogen)를 비롯하여 염화수소(HCl, hydrogen chloride), 불화수소(HF, hydrogen fluoride) 등이 발생할 수 있다.

물리적 증착방식의 하나인 스퍼터 공정에서는 ITO(Indium tin oxide) 박막필름 코팅을 위해 갈륨이철(Fe₂Ga, iron(III) galium), 삼산화 디인듐(In₂O₃, diindium trioxide), 산화아연(ZnO, zinc oxide), 주석디옥사이드(SnO₂, tin dioxide), 알루미늄(Al, aluminum), 몰리브덴(Mo, molybdenum), 티타늄(Ti, titanium), 구리(Cu, Copper) 등이 사용되며 스퍼터가 작업 중에는 진공상태를 유지하고 있어 인듐(In, indium)에 노출될 확률은 매우 적으나 인듐주석산화물(ITO) 타킷 교체 및 정비작업 등에서는 작업자가 인듐에 노출될 가능성이 있다.

물리적 인자로는 전기를 이용한 생산설비에서 발생하는 극저주파 자기장과 플라즈마 사용으로 인한 주파수 증폭으로 고주파 및 라디오파를 발생시킬 수 있다. WHO 산하 국제암연구소에서는 라디오파 및 극저주파 자기장에 대해서 "동물실험에서 암에 대한 증거가 있음(2B)"으로 분류하고 있다.

나) 포토 공정

17) LCD 디스플레이에서 RGB(적녹청) 서브픽셀 사이를 구분해 주는 검은 영역을 의미

(가) 공정설명

컬러필터공정의 포토공정의 경우도 TFT 공정과 같이 설계된 회로패턴을 유리기판에 구현하는 공정이다. 다만 TFT 공정과 차이가 나는 것은 LCD에서 컬러를 표현해 주기 위해 빛의 삼원색인 빨강, 초록, 파랑의 RGB(Red, Green, Blue)와 검정(BM) 색깔의 안료가 감광액의 원료로 사용된다는 것이다. 여기서 BM은 RGB를 구분해 주기 위한 칸막이의 역할을 한다고 볼 수 있다. 그리고 컬러필터의 막을 보호하고 평탄화 시켜주기 위한 보호막(Overcoat, OC)과 컬러필터와 TFT 기판의 간극을 유지하기 위한 컬럼스페이서(Column spacer, CS)도 포토공정에서 이루어진다. 컬러필터공정에서는 BM, RGB, OC, CS 각각에 해당되는 감광액이 유리기판에 도포되며 이후 노광, 현상, 건조 등이 진행된다.

컬러필터 공정은 포토레지스트를 코팅하기 전에 이물질들을 세정하기 위해 자체에 세정설비가 준비되어 있다. 유리기판이 투입되면 먼저 UV asher¹⁸⁾를 통해 유기물질을 제거한 후 탈이온수(DI)를 이용하여 세정을 하거나 사업장에 따라서는 수산화칼륨(KOH, potassium hydroxide) 용액으로 먼저 세정한 후 마지막으로 DI를 이용하여 세정을 한다. 이 공정은 포토레지스트에 함유되어 있는 유기용제의 노출을 최소화하기 위해 이중 부스가 설치되어 있다. 즉 코팅기를 조작하기 위해서는 출입문을 열고 들어가야 하며 코팅기에도 PVC 등의 플라스틱 재질의 유리판으로 장비 전체가 커버되어 있다.

(나) 유해·위험 요인

포토레지스트 성분에 함유된 유기용제 증기에 노출될 수 있고 현상액을 분사한 후 기판에 고르게 코팅하는 작업에서 휘발되는 유기용제 등에 노출될 수 있으며 용액을 보충하거나 PM작업을 위해 포토장비의 출입문(door)를 여는 경우 폐액 및 잔류물질 등에 노출될 수 있다.

포토공정에서 취급하는 화학물질로는 감광제로 초산부틸($C_6H_{12}O_2$, normal

18) 자외선 세정장치 : 감광액을 제거한후 남아있는 입자상물질을 자외선으로 제거하는 장치

butyl acetate), 시클로헥사논($C_6H_{10}O$, cyclohexanone), PGME, PGMEA, 디 프로필렌글리콜메틸에테르($C_7H_{16}O_3$, dipropylene glycol monomethyl ether), 2-부톡시에탄올($C_6H_{14}O_2$, 2-Butoxyethanol), 디아세톤 알코올($C_6H_{12}O_2$, di acetone alcohol, DAA), 카본블랙(C, carbon black), 니켈(Ni, nickel) 등 금속안료, 폴리에틸렌메탈크릭수지 등이 사용되며 정제 및 현상액으로는 탈이온수, 수산화칼륨(KOH, potassium hydroxide), 수산화테트라메틸 암모늄($C_4H_{13}NO$, tetramethylammonium hydroxide) 등이 사용된다.

여러 부속의 세척, 청소, 부품 교체, 그 밖의 정비 및 보수(PM)작업 과정에서 퍼지가 불충분한 경우에 이들 잔류 물질, 세척액, 폐액 등에 노출될 수 있고 자외선을 이용한 노광작업에서 수지나 감광성 물질의 분해로 인하여 오존 등과 같은 부산물에 노출될 수 있다.

물리적 인자로는 자외선을 방출하는 노광작업에서 방출되는 자외선(UV)이나 이물질 제거시 플라즈마 사용으로 인한 라디오파에도 노출될 수 있다. 그리고 정전기 제거용 이온나이저에서 발생하는 엑스선에 노출될 수 있는데 노출량은 설치대수의 수에 따라 달라질 수 있다. 또한, 전기를 이용한 생산설비에서 발생하는 극저주파 자기장에도 노출될 수 있는데, WHO 산하 국제암연구소에서는 라디오파 및 극저주파 자기장에 대해서 "동물실험에서 암에 대한 증거가 있음(2B)"으로 분류하고 있다.

컬러필터 공정의 안전상 위험요인으로는 세척제, 폐액 등이 바닥에 흘렀을 경우 정비작업중 미끄러짐, 배관 및 부품 등 운반시 넘어짐, 설비 및 기기 정비작업시 사다리 작업으로 인한 떨어짐 사고위험이 발생할 수 있다. 또한, 정비작업중 부품 세척, 청소 등으로 끼임사고가 발생할수 있으며 설비내부에서 청소작업시 시설물에 의해 부딪힘 사고가 일어날 수 있다. 황산, 불산 등 산류 또는 암모니아수 등 알칼리류에 접촉할 경우 화상의 위험도 존재한다.

(3) 액정 공정

액정 공정은 박막트랜지스터(TFT) 공정과 컬러필터 공정에서 가공된 각각

의 유리기판에 배향막을 인쇄하고 액정을 주입한 후 두 개의 유리기판을 합착하고 패널(Panel) 단위로 재단하는 공정을 말한다. 액정공정은 다시 배향 공정, 러빙(Rubbing) 공정, 액정주입 공정, 절단 및 연마 공정 등으로 구성되며 세정작업은 공정 전후, 수시로 이루어진다.

가) 배향 및 러빙 공정

(가) 공정설명

유리기판에 배향막인 액정배향제¹⁹⁾(Polyimide, 이하 'PI'라 한다)를 이용하여 고분자막을 인쇄하는 공정을 말한다. 배향공정은 PI를 인쇄하는 공정을 말하며 다시 인쇄, 건조, 소성 등의 단위 공정으로 분류할 수 있다. 폴리이미드와 유기용제가 혼합된 배향액을 일정 두께로 인쇄한 후 오븐(Hot plate)에서 230℃의 온도로 130초 정도 가열하여 배향액의 유기용제를 휘발시켜준 다음 배향막을 고형화하기 위해 소성 오븐에서 130℃의 온도로 약 2,000초 정도 경화시킨다.

PI 인쇄공정은 유리기판과 함께 원통형 롤러를 이용하여 인쇄하는데, 이 롤러에 PI 마스크를 부착한다. PI 인쇄기는 작업자 노출을 줄이기 위해 전체를 부스식으로 밀폐해 놓았다.

러빙(Rubbing) 공정은 원활한 액정의 구동 방향 및 각도 형성을 위해 배향막 표면을 처리하는 공정을 말한다. 러빙 공정은 액정이 배향되도록 고속으로 회전(약 6,500~7,000 rpm)하는 러빙포가 감겨 있는 롤러에 배향막이 형성된 유리기판을 통과시켜서 배향막 표면에 골을 내주는 공정이다.

(나) 유해·위험 요인

유리표면에 묻은 이물질을 제거하기 위한 세정제로는 에틸렌글리콜($C_2H_6O_2$, ethylene glycol), 에탄올 아민(C_2H_7NO , ethanolamine), 수산화 테트라메틸 암모늄($C_4H_{13}NO$, tetramethylammonium hydroxide), 이소프로필알콜

19) 액정배향제는 LCD에서 액정의 규칙적인 배열이 가능하도록 유리기판과 액정의 사이에 존재하는 LCD에 없어서는 안될 특수 재료를 말한다.

(C_3H_8O , isopropyl alcohol, IPA), 탈이온수 등이 사용되고 있으며 배향액으로는 1-부톡시-2-프로판올($C_7H_{16}O_2$, 1-butoxy-2-propanol), 1-메틸-2-피롤리디논(C_5H_9NO , n-methyl-2-pyrrolidone), 다이 에틸렌 글리콜($C_4H_{10}O_3$, diethylene glycol), 2-부톡시에탄올($C_6H_{14}O_2$, 2-butoxyethanol), 에탄올(C_2H_6O , ethyl alcohol) 등이 사용되고 있다.

물리적 인자로는 정전기 제거용 이온나이저에서 발생하는 엑스선에 노출될 수 있는데 노출량은 설치대수의 수에 따라 달라질 수 있다. 또한, 전기를 이용한 생산설비에서 발생하는 극저주파 자기장에도 노출될 수 있는데, WHO 산하 IARC에서는 극저주파 자기장에 대해서 "동물실험에서 암에 대한 증거가 있음(2B)"으로 분류하고 있다.

나) 액정주입 공정

(가) 공정설명

TFT 공정과 컬러필터 공정에서 가공된 두 개의 유리기판 사이에 액정을 주입하고 합착하는 공정을 말한다. 사업장에서는 이를 VALC(Vacuum Alignment with Liquid Cristal process) 또는 VAS(Vacuum Alignment System)이라고 부르는데 이것은 진공하에서 합착한다는 의미이다. 액정 주입 공정에서는 한쪽 유리기판에 액정이 누출되는 것을 방지하기 위해 실런트(Sealant)를 도포하고 다른 한쪽의 TFT기판에는 액정을 적하(Dotting)하게 된다. 사업장에서는 실런트의 도포를 Seal 도포라고 부르고 있다. 실런트 도포 및 액정적하 후에는 진공상태에서 두 기판을 합착하며 이후에 자외선(UV)을 조사하여 실런트를 광(light) 경화시켜준 후 오븐에서 $120^{\circ}C$ 의 온도에서 3,000초 정도 경화시켜준다.

두 기판을 합착 및 경화시킨 후, 액정 공정의 마지막 단계인 재단/연마 공정은 합착 완료된 유리기판을 패널(Panel) 단위로 잘라주는 재단공정과 모서리(Edge) 부분을 마무리해 주고 정전기 방지회로인 쇼트 바(Shorting bar)를 제거해 주는 연마공정으로 구성된다. 한편 본 연마작업에 앞서서 1차적으로 레이저를 이용하여 트리밍(Trimming) 작업이 있는 경우도 있다. 액정봉합공

정에서는 최종적으로 Cell내부에 액정을 주입하고 주입구를 봉지제로 봉합하면 LCD기판 제작이 완료된다.

(나) 유해·위험 요인

사용 화학물질로는 액정 충전재인 1-메틸-2-피롤리디논(C_5H_9NO , n-methyl-2-pyrrolidone), 2-부톡시에탄올($C_6H_{14}O_2$, 2-butoxyethanol), 감마 부티로락톤($C_4H_6O_2$, gamma-butyrolactone) 등이 있으며 실런트물질인 산화규소(SiO_2 , silicon dioxide), 고분자화합물 등과 스페이서 물질인 니켈(Ni, nickel), 금(Au, gold), 디비닐벤젠폴리머($C_{10}H_{10}$, divinylbenzene polymer) 등이 있다. 세정작업이 필요시 이소프로필알콜(C_3H_8O , isopropyl alcohol)을 사용하기도 한다.

물리적 인자로는 실런트를 광 경화과정에서 사용되는 자외선과 정전기 제거용 이오나이저에서 발생하는 엑스선에 노출될 수 있는데 노출량은 설치대수의 수에 따라 달라질 수 있다. 또한, 전기를 이용한 생산설비에서 발생하는 극저주파 자기장에도 노출될 수 있고 120℃의 오븐에서 경화작업 시 고열에 노출되거나 화상을 입을 수 있다.

액정 공정의 안전상 위험요인으로서는 정비작업중 세척제, 폐액 등이 바닥에 흘렸을 경우 미끄러짐 사고, 배관 및 부품 등 운반시 넘어짐 사고, 설비 및 기기 정비작업시 사다리 작업으로 인한 떨어짐 사고의 위험이 일어날 수 있다. 또한, 정비작업중 설비내 세척, 청소 등으로 끼임사고가 발생할수 있으며 협소한 공간으로 인해 청소작업시 시설물에 의해 부딪힘 사고가 일어날 수 있다.

(4) 모듈 공정

모듈 공정은 여러 부품을 하나의 LCD 모듈로 조립하는 공정으로 액정 공정에서 합착되어 절단된 패널에 편광판(Polarizer)을 부착한 다음 인쇄회로기판(Printed circuit board, 이하 'PCB'라 한다)과 후광 장치(Back light unit, 이하 'BLU'라 한다)를 연결한 후 최종 검사하는 공정이다. 백라이트 공

정은 외부 협력업체가 담당하는 경우가 많다. 여기에는 단위공정으로 세정, 편광판 부착 및 PCB 부착 공정 등이 포함된다.

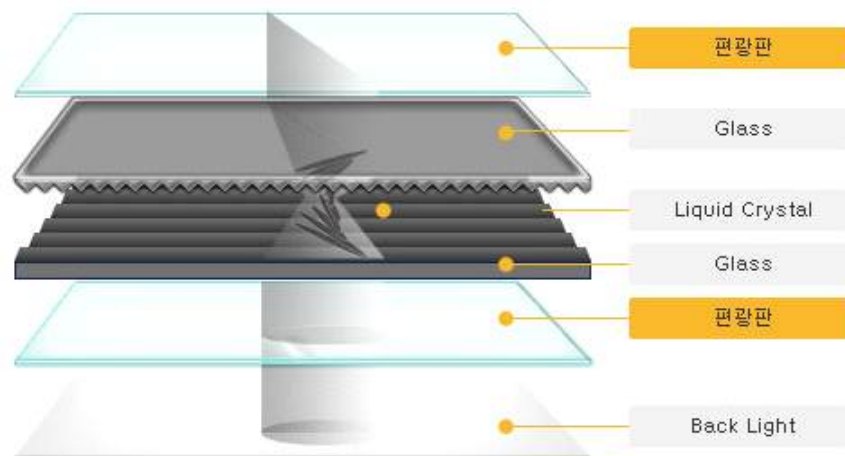
가) 공정설명

세정공정에서는 단위공정에 앞서서 먼저 탈이온수를 이용하여 이물질을 제거한다. 편광판 부착공정은 편광판을 패널에 부착하는 공정이다. 일반적으로 편광판을 먼저 롤러에 부착한 다음 LCD 패널을 움직이면서 롤러 표면에 붙어있는 편광판을 패널에 부착하게 된다. 편광판을 각각 박막트랜지스터(TFT)와 컬러필터 기판에 부착하는데 오토클레이브(Autoclave)로 고온 가압처리를 하여 편광판의 접착력을 좋게하고 기포를 제거할 수 있게 한다. 가압 열처리는 0.35 MP(maximum pressure), 50℃에서 약 3분가량 실시한다.

다음에는 LCD 패널에 구동 집적회로(Driver IC ; LCD를 제어 또는 작동하기 위한 필수적인 집적회로) 칩(chip)을 부착한 다음 이것에 PCB 기판을 부착하는 공정이다. 현재 사업장에서는 LCD 패널에 Driver IC 칩을 접착하는 것을 COG(Chip on glass) 또는 OLB(Outer lead bonding) 이라고 부르고 있다. COG는 LCD 패널상에 IC 칩을 부착하는 기술을 말하는 것이고 OLB라는 것은 LCD 패널 외부에 리드선을 접착하는 기법을 말하는 것으로 두 가지 모두 LCD 패널을 작동하기 위해 전기적인 회로를 연결하는 것을 의미한다. LCD 패널과 Driver IC 칩과의 접착을 위해서는 이방성 도전성접착제(Anisotropic conductive adhesive, 이하 'ACF'라 한다)를 이용하는데 압착시 ACF내의 도전성 볼(Ball)이 터지면서 도전(전기적으로 연결)이 이루어진다. 그리고 이렇게 LCD 패널에 접착된 IC 칩은 외부의 PCB 기판과 연결된다. IC 칩과 PCB 기판과의 연결에 있어서도 ACF 도전성 접착제가 사용된다. 이후 구동 집적회로(Driver IC) 칩과 인쇄회로기판(PCB)가 연결된 LCD 패널은 광원인 백라이트 장치(Backlight unit, BLU)와 결합되고, 검사를 거쳐서 최종 제품이 생산된다.

ACF 부착 공정에서는 롤러에 감겨있는 ACF가 LCD 패널(Panel)의 가장자리에 부착되고, 구동 집적회로(Driver IC) 또는 Driver IC 내장필름인 TAB(Tape automated bonding)을 올려놓고 압착을 한다. 그리고 PCB에도 ACF를 부착한 다음 구동 집적회로(Driver IC) 또는 TAB이 장착된 Panel과 인쇄회로기판(PCB)를 최종적으로 압착을 하는데 이것을 PCB 본압착이라 한다. 그리고 습기 등에 의한 불량을 방지하기 위해 칩 접착부에 자외선 경화용 접착제 등으로 바른 후 자외선(UV)를 이용하여 경화시켜준다.

LCD 모듈공정에서 제품에 불량이 발생할 경우에는 별도의 작업 공간에서 TAB(Tape automated bonding)이나 편광판을 제거하고 다시 부착해주는 작업을 반복하는데 이것을 재작업(Rework) 또는 재수선(Repair) 작업이라 한다. TAB 재작업(rework)의 경우는 불량이 발생하였을 경우 TAB 필름을 예열하여 유기용제를 이용하여 제거한 후 다시 TAB 부착공정으로 보내진다.



〈출처: LG 화학, <http://www.lgchem.com/kr/display/lcd-polarizer>〉

[그림 III-19] LCD 패널과 편광판

나) 유해·위험 요인

모듈공정에서 세정제로 사용되는 에탄올(C_2H_5OH , ethanol), 아세톤(CH_3

COCH₃, acetone), 폴리에스터 수지(Polyester resin) 등이 있고 노즐세정제로는 1-메틸-2-피롤리디논(C₅H₉NO, n-methyl-2-pyrrolidone), 에틸시클로헥산(C₈H₁₆, ethyl cyclohexane), 데카히드로 나프탈렌(C₁₀H₁₈, decahydronaphthalene) 등이 있다. 편광판을 패널에 부착 시 은반죽(Ag Paste)을 이용하는데 아세틸 아세톤(CH₃COCH₂COCH₃, acetylacetone), 은(Ag, silver) 등이 사용되며 솔더링(Soldering) 작업 시 은(Ag), 주석(Sn, tin) 및 구리(Cu, copper) 등과 같은 금속이 사용된다.

부착공정에서는 잉크, 도포 및 경화제 등과 같은 화학제품이 사용되는데, 이와 같은 제품에는 다음과 같은 화학물질이 포함되어 있다. 디메틸 카보네이트(C₃H₆O₃, dimethyl carbonate, DMC), 초산부틸(C₆H₁₂O₂, butyl acetate), 메틸시클로헥산(C₇H₁₄, methylcyclohexane), 에틸시클로헥산(C₈H₁₆, ethylcyclohexane), 2-메틸-4'-(메틸 티오)-2-모르폴리노 프피오 페논(C₁₅H₂₁NO₂S, 2-methyl-4-(methylthio)-2-morpholino-propiophenone), 펜타 에리스리톨 트리 아크릴레이트(C₁₄H₁₈O₇, pentaerythritol triacrylate), 디펜타 에리트 리톨 헥사 아크릴레이트(C₂₈H₃₄O₁₃, dipentaerythritol hexaacrylate), 도데실 아크릴레이트(C₁₅H₂₈O₂, dodecyl acrylate), 이소 보닐 아크릴레이트(isobonyl acrylate, CAS 5888-33-5) 등이 있다.

물리적 인자로는 광 경화 시 사용되는 자외선과 정전기 제거용 이온나이저에서 발생하는 엑스선에 노출될 수 있는데 노출량은 설치대수의 수에 따라 달라질 수 있다. 또한, 전기를 이용한 생산설비에서 발생하는 극저주파 자기장에도 노출될 수 있는데, WHO 산하 국제암연구소에서는 극저주파 자기장에 대해서 "동물실험에서 암에 대한 증거가 있음(2B)"으로 분류하고 있다.

모듈라인의 안전상 위험요인으로는 폐액 등이 바닥에 흘렸을 경우 정비작업 중 미끄러짐, 부품 및 배관 등 운반시 넘어짐, 설비 및 기기 정비작업시 사다리 작업으로 인한 떨어짐 사고위험이 발생할 수 있다. 또한, 정비작업 중 세척, 청소 등으로 끼임사고가 발생할 수 있으며 협소한 설비내부에서 청소작업 시 시설물에 의해 부딪힘 사고가 일어날 수 있다.

4) 전자산업(반도체/OLED 공정) 정비직무의 안전보건 유해·위험 평가

작업장에서 위험(risk)을 평가해야 할 범주와 항목은 매우 많다. 필요한 경우 개별적으로 구체적인 위험을 평가해야 한다. 여러 기관에서 직업적 안전보건 위험을 평가해야 할 목록을 제시하였다. 해당 연구에서는 2개 기관(European Commission과 UN Globally Harmonized System: GHS)에서 작업장의 위험을 평가해야 할 안전보건 위험인자 목록을 제시하였다. 이를 기반으로 반도체와 OLED(LCD) 산업에서 작업장의 위험을 일반적(종합적) 위험평가(general risk assessment)에 포함할 항목과 위험평가 방법을 개발하였다.

(1) 일반적 안전보건 위험평가 내용

가) European Commission(EC, 유럽위원회)

EC는 총 10 개 목록(항목)을 위험 평가 가이드 목록으로 제시하였다.²⁰⁾ 위험의 특성에 따라 유사한 10개 그룹 목록이다.

(가) 작업 장비 사용으로 인한 사고 위험

- 움직이거나 회전하는 기계에 보호장치가 부적절하게 설비되어서 해당 기계가 부수어지거나, 끼이게 하거나, 찌르거나, 부딪히거나, 잡아채거나 잡아당길 수 있는 위험
- 부품 또는 재료가 무방비로 움직여서 (낙하, 구름, 미끄러짐, 기울어짐, 날아감, 흔들림, 붕괴) 사람이 부딪힐 수 있는 위험
- 기계 및 차량의 이동
- 화재 및 폭발 위험(예: 마찰, 압력 용기로 인한)
- 간헐

(나) 작업 특성 및 건물 배치

- 위험한 표면(날카로운 가장자리, 모서리, 점, 거친 표면, 튀어나온 부분)

20) European Commission Directorate-General V, Guidance on risk assessment at work, L-2985 Luxembourg, 1996

- 높은 곳에서 작업
- 부자연스러운 움직임/자세가 필요한 작업
- 제한된 공간(예: 고정된 부품 사이에서 작업해야 하는 경우)
- 걸려 넘어지거나 미끄러지는 환경(젖은 표면 또는 기타 미끄러운 표면 등)
- 작업공간(워크스테이션)의 안정성
- 개인보호장비 착용이 업무(의 다른 측면)에 미치는 영향
- 작업 기술 및 방법
- 밀폐된 공간에서 출입 및 작업

(다) 전기 사용

- 전기 스위치 기어
- 전기 설비(예: 링 메인, 조명 회로)
- 전기로 작동하는 장비, 제어 장치, 절연
- 휴대용 전동 공구 사용
- 전기 에너지로 인한 화재 또는 폭발
- 머리 위쪽의 전기선

(라) 건강 및 안전에 유해한 물질 또는 제제에 대한 노출

- 건강에 유해한 물질의 흡입, 섭취 및 피부 흡수(에어로졸 및 미립자 포함)
- 인화성 및 폭발성 물질의 사용
- 산소 부족(질식)
- 부식성 물질의 존재
- 반응성/불안정성 물질
- 민감성(감작성) 물질의 존재

(마) 물리적 유해인자에 대한 노출

- 방사선(열, 빛, 엑스레이, 전리방사선)에 대한 노출
- 레이저 노출
- 소음, 초음파에 노출

- 기계적 진동에 노출
- 뜨거운 물질/매체에 노출
- 차가운 물질/매체에 노출.
- 가압된 유체(압축된 공기, 증기, 액체)의 존재

(바) 생물학적 유해인자에 대한 노출

- 취급 시 미생물, 외독소 및 내독소 등에 의도하지 않은 노출로 인한 감염 위험
- 미생물(예: 냉각탑에서 분산된 레지오넬라균)에 대한 무의식적인 노출로 인한 감염 위험
- 알레르겐의 존재

(사) 환경 요인 및 작업장 기후

- 부적절하거나 부적합한 조명
- 온도/습도/환기의 부적합한 제어
- 오염 물질의 존재

(아) 작업장과 인적 요인의 상호 작용

- 정보를 정확하게 받고 처리하는데 필요한 안전 시스템의 의존
- 직원의 지식과 역량에 대한 의존
- 행동 규범에 대한 의존
- 변화하는 상황에 대처하기 위한 원활한 의사소통과 적절한 지침에 대한 의존
- 안전 작업 절차의 범위를 벗어났을 때 그것이 미치는 합리적으로 예측 가능한 영향
- 개인 보호 장비의 적합성
- 안전한 작업에 대한 동기 부여 부족
- 작업자에게 적합한 워크 스테이션 설계와 같은 인체공학적 요소

(자) 심리적 요인

- 작업의 강도(집중도, 단조로움)
- 작업장 환경(예: 밀실 공포증, 혼자 일하기)
- 역할 모호성 및/또는 갈등
- 업무 및 업무에 영향을 미치는 의사 결정에 대한 기여도
- 업무에 대한 높은 요구, 낮은 통제력

- 긴급 상황 발생 시 대응

(차) 작업 조직

- 작업 프로세스에 의해 조절되는 요소 (예 : 연속성, 교대 근무 시스템, 야간 근무)
- 안전보건 과정을 관리(control), 모니터링, 계획, 조직화하는데 가동되는 효과적인 관리 시스템 및 조직화
- 안전 장비를 포함한 장비의 유지보수
- 사고 및 비상사태에 대처하기 위한 적절한 준비

나) UN GHS(Globally Harmonized System, 국제조화시스템)²¹⁾

UN GHS 8차 개정판에서 17가지의 물리적 위험 등급, 10개의 건강 위험 등급, 2개의 환경 위험 등급을 소개하였다. GHS에는 기본적으로 물질 및 혼합물을 유형 및 위해성 별로 분류하는 기준을 포함하였다. 여기에는 국제적으로 신체적, 건강 및 환경적 위험을 다루는 국제적으로 통일된 기준이 포함되어 있다(UNECE, 2020).

GHS 8차 개정판에는 17가지의 물리적 위험 등급, 10개의 건강 위험 등급, 2개의 환경 위험 등급이 포함되어 있다.

각 위해성 등급은 영향의 심각성(위험 특성화) 또는 증거의 강도에 따라 위해성을 구분하는 위해성 범주로 구분된다. 사용 상황에 관계없이 화학물질의 본질적 유해성은 동일하므로 한 국가의 유해성 평가가 다른 국가에서도 적용될 수 있다는 점을 강조하고 있다.

(가) 기계적 위험

주로 안전사고 요인으로 물리적으로 미끄러짐, 넘어짐, 낙상, 물체에 부딪힘 등 근로자의 신체적 건강을 해치거나 부상을 입힐 수 있는 모든 것이 포함된다. 베임, 타박상, 골절과 같은 부상을 입거나 절단, 화상, 감전과 같은 더

21) GHS는 화학물질의 분류 및 라벨링에 관한 국제조화시스템의 약자임. GHS는 유해 화학물질을 식별하고 잠재적 위험성에 대한 정보를 전달하기 위한 일관되고 포괄적인 접근. 2003년에 처음 시행되었고 전 세계 국가에서 점진적으로 채택하고 있음.

심각한 부상을 초래할 수 있다. 여기에는 기계, 움직이는 차량, 낙하물 등과 미끄러짐, 넘어짐, 낙상, 물체에 부딪힘 등이 포함된다. 기계적 위험은 부품, 기계, 움직이는 차량, 낙하물 등으로 인해 발생할 수 있다.

전기적 위험인 화염, 배선 결함, 감전, 화상 및 기타 부상을 유발할 수 있는 전류에 대한 노출이 포함된다.

(나) 화학적 위험

■ 안전사고 측면

화재, 폭발 및 기타 사고를 일으킬 수 있는 독성 화학물질, 인화성 물질 및 가스에 대한 노출로 폭발성, 가연성 물질 등 화재와 폭발을 일으킬 수 있는 모든 것이 포함 된다.

■ 건강 영향 측면

화학적 위험은 급성 또는 만성적으로 건강에 영향을 미칠 수 있는 용제, 산, 중금속과 같은 독성 또는 유해 물질에 노출될 수 있는 잠재적 위험을 의미한다. 피부 자극, 호흡기 질환, 암 등 급성 혹은 만성적인 건강 문제를 일으킬 수 있다. 여기에는 각종 화학물질 사용으로 인한 입자, 가스, 증기 등이 포함된다.

(다) 생물학적 위험

감염성 질환을 유발할 수 있는 박테리아, 바이러스, 곰팡이 등의 미생물에 노출될 수 있는 잠재적 위험이다. 간염, HIV/AIDS, COVID-19와 같은 전염병 및 질병을 유발할 수 있다. 감염성 위험요인은 일반적으로 제조업에서 발생되지 않는다. 비감염성 생물학적 유해요인은 공정에 따라 발생할 수 있다.

(라) 인체공학적 위험

반복적인 동작, 불완전한 작업 자세, 중량물 취급 등은 각종 근골격계 질환(Musculoskeletal disorders, MSD)인 요통, 반복적 긴장 부상(Repetitive Strain Injuries, RSI), 건염, 손목 터널 증후군을 초래할 수 있다.

(마) 심리 사회적 위험

업무 환경, 부서 조직, 근로자 동료와 상하 관계, 직장 내 괴롭힘, 따돌림, 폭력 등으로 인한 긴장, 스트레스, 탈진, 불안, 우울증, 자살 등과 정신 건강 문제를 일으킬 수 있다.

사업장에서 안전사고 및 건강영향 위해요인 유형은 산업, 직장 및 관련된 특정 직무에 따라 다를 수 있다. 사업주는 직장 내 이러한 위험 요소를 파악 및 평가하고 이를 제거하거나 통제하기 위한 조치를 취해야 한다.

다) 국제사회안전위원회(International Social Security Association, ISSA)

ISSA에서 중소기업용으로 개발한 위험성 평가 10단계에서 제시한 유해위험요인 10개 그룹이다(ISSA, 2010).

(가) 기계적 유해요인(Mechanical hazards)

- 보호장치가 없는 움직이는 기계 부품(unprotected moving machine parts)의 위험한 표면을 가진 부품(parts with dangerous surfaces)
- 이동식 운송 장비, 이동식 작업 장비(movable transportation equipment, movable work equipment)

(나) 전기적 위험성(Electrical hazards)

- 감전
- 전기 아크
- 정전기

(다) 유해물질 인자(Hazardous substances)

- 가스
- 증기
- 에어로졸

(라) 생물학적유해인자

- 병원성미생물에 의한 감염유해인자(박테리아, 바이러스, 곰팡이 등)
- 알려지된, 미생물로부터 배출된 독소물질

(마) 화재 폭발 유해인자

- 고체, 액체, 기체로부터 화재 위험
- 폭발성 대기 조건/상태
- 폭발성 물질

(바) 온열 유해인자

- 뜨거운 물질이나 표면
- 차가운 물질이나 표면

(사) 특별한 물리적 충격에 의한 유해인자

- 소음
- 초음파, 아음속 소음
- 전진진동

(아) 작업장 환경으로부터 위험

- 기후
- 조명
- 익사

(자) 육체적인 긴장(strain)

- 강도가 높은 동적 작업
- 편측 동적 작업
- 정적 작업

(차) 정신적 유해인자

- 잘못 설계된 직무
- 잘못 설계된 직무조직
- 잘못 설계된 사회적 환경/상태 등

라) 반도체 공정에서 일반적인 안전보건 위험 요소들

반도체 작업에는 여러 가지 유형의 안전 보건 위험이 발생한다. 기계적/전기적 안전사고요인, 화학물질 건강위험, 물리적 유해 요인, 사회 심리적 유해 요인, 환경유해요인 등 일반 사업장에서 존재하는 위험 등이 대부분 존재한다. 특성별로 개략적으로 구분하면 아래와 같다. 공정마다 직무마다 차이는 있지만 대부분 존재한다. 문헌을 종합해서 포괄적인 반도체 산업에서 유해요인을 9개 그룹으로 분류했다.

(가) 기계적 안전사고 요인

움직이는 기계 부품, 위험한 장비나 설비의 표면, 이동식 장비 등에 대한 사고 요인이다. 각종 반도체 소재, 부품, 장비, 설비 등에 의한 사고 위험이 있을 수 있다. 로봇이나 기계와 같은 중장비를 사용하므로 베임, 타박상, 골절과 같은 부상, 사고 위험이 있을 수 있다.

(나) 화학물질 위험

반도체 작업에는 산, 용제, 가스 등의 유해 화학물질이 사용되므로 화학적 화상, 흡입, 화재 또는 폭발의 위험이 발생할 수 있다. 작업자가 고체, 액체, 기체 등 어떤 형태로든 화학물질에 노출될 수 있다. 화학물질은 대부분의 근로자에게 안전할 수 있는 농도에서도 일부 민감한 근로자에게는 피부 자극 또는 호흡 문제를 일으킬 수 있다.

- 세정제, 산, 염기, 유기용제 등의 액체
- 각종 반도체 공정에 사용되는 가스류
- 용제 및 폭발성, 인화성 화학물질 노출에 따른 급성 만성적인 질병 위험, 질식, 폭발, 화재, 연소 등의 안전보건위험을 모두 갖고 있음.

(다) 전기적 위험

고전압 장비 등이 사용되므로 감전, 화상 및 화재의 위험이 있다. 전기 장비 및 기계 관련 위험(잠금/태그아웃 등)과 닳은 코드, 누락된 접지 편, 부적절한 배선과 같은 전기적 위험이 있다.

(라) 방사선 유해인자

일부 공정에서 엑스레이, 극 저주파, 라디오파 발생 및 노출 위험이 있다.

(마) 생물학적 유해인자

공정에서 직접적으로 발생하는 생물학적 유해요인은 없다. 다만 코로나 바이러스와 같은 외부 환경에서 감염된 근로자 또는 환경에 따라 추가 발생요인은 있을 수 있다.

(바) 인간공학적 작업요인 위험

- 반복적인 동작과 부자연스런 자세로 진행되기 때문에 손목터널증후군, 요통과 같은 근골격계 질환의 위험 상존
- 부적절한 작업환경배치나 조건, 빈번한 중량물 들기 등 취급, 부적절한 작업자세, 불완전한 동작 반복, 같은 동작을 계속해서 반복, 많은 힘을 자주 사용해야 하는 직무 등으로 인체 특정 부위, 근육, 골격 등에 긴장을 주거나 손상을 주는 직무 등

(사) 사회심리적 유해요인

직무 스트레스, 장시간 근무, 높은 업무량, 시간 압박으로 인해 불안과 우울증과 같은 정신 건강 문제를 유발할 수 있다.

(아) 환경 등 생태계 유해요인

환경 및 주민 건강 피해, 기후 변화를 일으킬 수 있는 휘발성 유기 화합물(Volatile Organic Compounds, VOC), 질소 산화물(NO_x), 입자상 물질(Particulate Matter, PM) 등의 대기 배출을 유발할 수 있다. 공정에서 배출되는 폐수 및 유해 폐기물이 발생할 수 있어 수질 오염 및 건강 문제를 일으킬 수 있다.

반도체 공정에서는 안전보건 사고 및 건강 위험 요소를 식별(identification), 평가하고 이를 제거하거나 통제하기 위한 조치를 취하는 것이 매우 중요하다. 위험요인을 정확히 인지하고 평가해서 최소한으로 관리하는 것이 필요하다.

(2) 반도체/OLED 공정별 정비직무별 일반적 위험 평가 전략

가) 위험평가 대상 안전보건 요인

본 연구에서 위험 평가 대상은 공정과 정비직무에서 노출되는 안전사고 요인과 건강유해요인으로 구분했다. 건강 유해요인 중 인간공학적 요인과 사회심리적 요인, 생물학적 요인, 그리고 환경과 생태영향 요인에 대한 위험평가는 제외했다. 본 연구의 목적인 공정에서 이루어지는 정비직무의 안전보건가이드 개발이기 때문이다.

(가) 안전사고 요인: 6개

- 기계위험요인
- 폭발과 화재
- 감전
- 질식
- 추락
- 화학물질 누출

(나) 건강 유해 요인: 4개

- 엑스선
- 극저주파 등 전자파
- 온열
- 화학물질(CMR물질)

나) 일반적 안전보건 위험평가

위험(risk)은 유해한 안전사고 또는 건강 유해요인 노출의 발생 가능성(probability)과 해당 안전사고로 인한 부상 또는 건강 유해요인 노출로 인해 발생할 수 있는 건강 상태, 질병의 심각성(severity)의 조합이다.

본 연구에서 반도체 공정별 정비 직무에서 안전사고와 질병 발생 위험을 평가했다. 위험성 평가의 첫 단계는 반도체 공정의 정비직무에서 작업을 수행할 때 발생할 수 있는 잠재적인 안전사고와 건강영향 위해요인(hazard)을 발

견하는 것이다. 위해 요인과 관련된 위험을 평가(risk assessment, RA)하고 위험을 제거하거나 관련된 위험을 줄이기 위한 조치를 취하는 과정이 이어진다.

(가) 위험성 평가 총괄

Generic Risk Assessment(전반적인 안전보건위험평가, 이하 GRA라 함)는 사업장 위험 관리를 위한 일반적인 관리전략으로 활용할 수 있는 위험평가 도구다. GRA결과에 따라 각 공정/작업/직무/인자 등 상황에 맞는 (site) 추가 구체적인 위험평가[Site-Specific Risk Assessment(이하 'SSRA'라 함)]를 실행할 수 있다. RA는 GRA와 SSRA로 구분할 수 있다. 또한 특정 현장에서 직접 RA를 평가하고 위험을 관리할 수 있는 체크리스트 형태의 템플릿(template)도 개발할 수 있다.

GRA는 확인된 유해성과 그에 맞게 취해지는 일반적인 행위들로 이루어진 관리조치들을 정리한 것이다. GRA는 각 사업장의 노동자들이 정기적으로 수행하는 작업들에 적용될 수 있는 기본적인 RA라고 할 수 있다. 특정한 상황에 맞게 변용해서 활용할 수 있도록 다양한 형태의 통상적인 작업에 대해 RA 템플릿을 만들어둘 수 있는데 이런 형태의 RA를 GRA라고 할 수 있다. 통상적으로 GRA에는 다음과 같은 내용들이 포함되도록 한다. 작업(Activity) / 임무(Task) / 위험평가(Assessment of Risk) / 주요 유해 포인트(Significant Hazards) / 가능성(Likelihood) / 심각성(Severity) / 위험의 대상이 될 수 있는 사람(Persons at Risk) / 관리대책(Controls Measures) / 남은 위험에 대한 평가(Assessment of Remaining Risk) / 추가로 필요한 조치(Further Action Required) 등이다.

반면 SSRA는 노동자가 작업하고자 하는 특정한 작업 위치나 프로젝트에서 발생할 수 있는 유해성에만 집중한 RA라고 할 수 있다. 따라서 특정 현장과 관련해서 확인된 위험에 대해서 그에 적합한 관리전략을 적용하도록 조정할 수 있다. 통상 반복적인 작업이나 위험이 매우 낮은 작업에 있어서는 GRA를 변용할 필요가 없다. 그러나 노동자가 자신이 수행하는 작업 장소에서의 특성을 반영해서 GRA를 변용한다면 그것이 SSRA가 되는 것이다. 예를 들어,

GRA에서 예시된 제조공장에서의 정비작업이나 창고 작업에 대한 일반적인 위험성 평가 내용을 기초로 해서 특정한 공장이나 특정한 창고에서 작업이 수행될 경우, 해당되는 내용에 대해서만 집중적으로 관리전략을 적용시킬 수 있다. 또는 GRA에 정리되지 않은 별도의 위험이 존재한다면 그것에 대해서만 추가해서 위험성 평가를 수행하고 반영해 둘 수 있다.

이처럼 일상적인 작업들에 대한 GRA가 잘 만들어져 있다면 특정한 상황에서 적용시킬 수 있는 SSRA를 효과적으로 만들어서 실행시킬 수 있다.

다) 본 연구에서 위험성 평가 활용

(가) 안전보건가이드 개발 대상 직무 선정

본 연구에서 GRA 결과를 활용하여 안전보건가이드 개발 대상 직무를 선정하였다. 본 연구에서 GRA는 반도체/OLED/LCD 공정의 정비 직무에서 발생하는 안전사고 위해 요인 6개와 건강 위해요인 4개에 대한 안전사고와 노출의 가능성과 이들 안전사고와 노출에 따른 손상(영향)과 질병의 심각성을 4개 범주로 분류하고 이들을 조합하여 위험을 평가했다.

① 안전사고와 건강유해요인 노출 발생 가능성(확률)

안전사고와 건강 유해요인 노출 발생 가능성은 총 4개 범주로 임의대로 구분했다(〈표 III-4〉 참조). 공정별 정비 주기가 빈번할수록 안전 및 보건 위해 요인 노출 확률이 높을 것으로 가정했다. 공정별 정비 직무 위험은 상대적인 평가이므로 기준이 되는 대상(정비주기)은 팹(Fab) 전 공정 평균 정비 주기로 했다. 즉 공정별 정비직무에서 위해요인 노출 발생 확률은 평가 대상 공정 정비직무 정비 주기를 전 공정 평균 정비 주기와 비교하여 1%~10% 일 경우 낮음(2), 10%~50%는 중등(3) 그리고 50% 이상은 “높음(4)”으로 평가했다.

〈표 III-4〉 반도체/LCD/OLED 공정 직무별 안전 및 건강위해요인(hazard) 노출 발생 확률(probability)

범주(점수)	위험 사고 발생 확률 구분: 전 팹 공정 평균 정비 주기와 비교하여 구분
매우 낮음: 1	전 공정 평균 정비 횟수 <1%
낮음: 2	전 공정 평균 정비 횟수 1% ~ <10%
중등: 3	전 공정 평균 정비 횟수 10% ~ 50%
높음: 4	전 공정 평균 정비 횟수 > 50%

안전사고 발생 가능성은 현재 안전보건 공학적 및 행정적 관리 조치 등의 수준에 따라 결정된다. 반도체 공정은 장치 산업이므로 안전사고 요인에 대한 공학적 조치는 마련된 것으로 판단해 위험 관리 수준에 따른 안전요인 노출 확률은 고려하지 않았다. 이러한 판단은 화재, 폭발, 화학물질 누출 등에 대한 정기적 공정안전점검(Process Safety Management, PSM)의 통과 서류에 따른 것이다.

건강영향 유해요인 노출 가능성은 하루 취급 또는 노출시간별(<2시간, 2~4시간, > 4시간)로 구분하기도 한다. 반도체 공장 정비직무는 공정별로 다르더라도 하루 일정 시간 이상 정비직무를 수행하므로 하루 노출시간은 같은 것으로 가정했다.

② 안전사고와 건강유해요인 노출 발생으로 인한 심각성

안전사고로 인한 신체 손상은 ‘반도체/LCD/OLED 공정 직무별 안전 및 건강 유해요인 노출로 인한 사고, 질병으로 인한 심각성(severity)’을 나누는 기준을 산업안전보건법에서 정하고 있는 바에 따라 임의로 정했다(〈표 III-5〉 참조). 부상이나 질병의 치유에 필요한 3일 이상의 휴업일을 기준으로 3일 이하 치료가 필요한 경우 경미(1), 3일 이상 치료가 필요하고 완전 회복이 가능한 중등(2)으로 구분했다. 중대한 손상(3)은 3일 이상의 휴업 일을 필요로 하되 노동력이 감소할 수 있는 후유증이 남을 수 있는 경우로 구분했다. 마지막

으로 높음(4)은 영구장애가 남거나 심지어 사망에 이르는 경우로써 노동력이 상실되는 단계이고 공정 운전이 정지될 정도로 심각한 사고가 발생한 경우를 포함했다. 질식, 급성 중독, 추락 등 사망 또는 치명적 손상, 화재/폭발/화학 물질 누출 등으로 손상 또는 공정이 정지된 경우이다.

〈표 III-5〉 반도체/LCD/OLED 공정 직무별 안전 위해요인 노출로 인한 사고로 인한 심각성(severity)

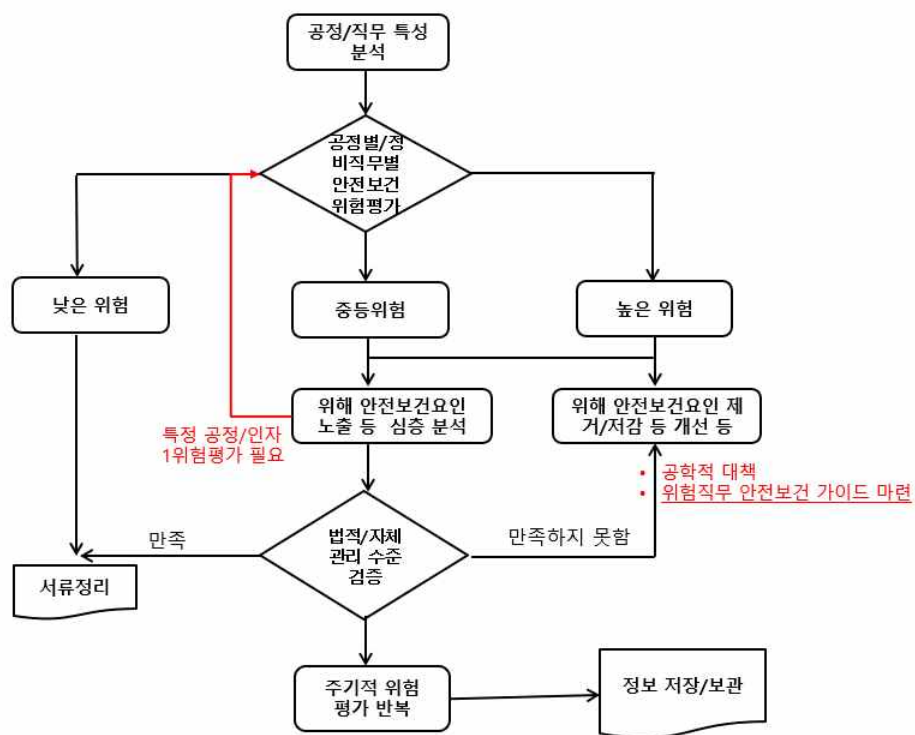
범주(점수)	안전 위해요인 노출로 인한 사고 손상 심각성
경미(Minor): 1	경미한 사고나 부상으로써 2일 이내의 치료를 요하는 업무상 재해
중등(moderate): 2	3일 이상의 휴업이 필요한 부상 혹은 질병으로써 완전한 회복이 가능한 경우 (노동력 완전 회복 가능)
중대(major): 3	3일 이상의 휴업을 필요로 하는 부상 혹은 질병으로써 후유증이 남는 정도의 손상 장애 (노동력은 감소하나 유지는 가능)
치명(critical): 4	영구장애가 남는 메이저급 손상과 사망(노동력상실) 또는 공정 운전 정지등 <화재, 폭발, 화학물질 누출 등 해당>

건강유해요인 노출로 인한 질병의 심각성은 유해인자의 급성 및 만성적 건강에 미치는 영향에 따라 정의했다. GHS에 의한 화학물질 위해 지수(Hazard Phrase) 구분을 활용했다(〈표 III-6〉 참조). 건강영향에서 “치명”적인 사례는 비가역적 급성 중독이나 비가역적 만성 질병인 진폐, 암, 생식독성, 돌연변이 등을 초래할 가능성이 있는 물질 취급이나 유해인자에 대한 노출인 경우다. 중대한 건강영향은 비가역적 질병이나 가역적이라도 알러지 등 심각한 호흡기 질환초래 가능성 있는 물질 노출이 해당된다. 반도체 공정에서 많은 화학 물질 등 노출에 따른 가역적, 비가역적 건강영향은 노출 직후 또는 장기간에 걸쳐 나타나는 것이 일반적이다. 건강영향 심각성은 노출수준과 상관없이 유해인자 발생과 노출에 따른 잠재적 건강위험으로 구분했다.

(나) 안전보건가이드 개발 대상 공정 선정

사고와 노출 가능성/확률(1, 2, 3, 4)과 손상과 건강영향에 따른 심각성 등

급(1, 2, 3, 4)을 곱해서 공정별 정비직무별 위험과 총괄 위험 수준을 결정했다. 공정별 정비직무별 상대적 안전보건 위험 등급이다. 본 연구에서 위험이 높은 공정의 정비직무를 대상으로 원청 기업과 협의를 거쳐 “안전보건 직무 가이드”를 개발했다([그림 III-20] 참조).



[그림 III-20] 안전보건가이드 개발 대상 공정별 정비직무 선정 과정

〈표 III-6〉 반도체/LCD/OLED 공정 직무별 질병 위해요인 노출로 생길 수 있는 질병의 심각성(severity)

범주 (점수)	건강 위해 인자 노출로 인한 질병 심각성	위해표시 화학물질(hazard phrases) by GHS *
경미 (Minor): 1	경미한 피부, 호흡기 자극을 갖는 가역적 건강영향 또는 증상	H303,H304,H305,H313,H315,H316,H318,H319,H320,H333,H336 과 다른 모든 위해 표시 물질
중등 (moderate): 2	단기간 가역적 건강영향 또는 증상. 자극 보다 심각한 피부 및 호흡기 증상 등 문제	H302, H312, H332, H371
중대 (major): 3	비 가역적 건강영향 또는 오랜 기간 치료해야 하는 가역적 건강영향으로 독성, 알려지 감작, 심각한 호흡기 질환 문제	H301, H311, H314, H317, H318, H331, H335, H370, H373
치명 (critical): 4	비 가역적 만성 질병으로 진폐, 천식, 암, 생식독성, 유전자 영향 초래	H300, H310, H330, H351, H360, H361,H362, H372, H334, H340, H341, H350

* CropLife International, Chemical Exposure Assessment and Control during the Manufacturing Process, Practical Guidance, <https://croplife.org/> accessed on May 2023

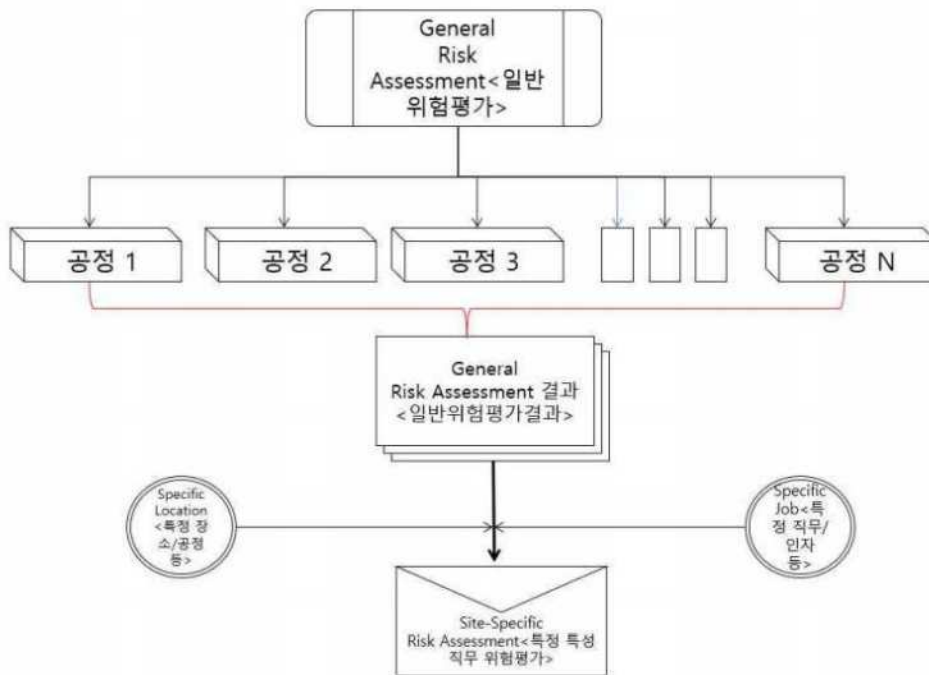
(다) 안전보건가이드 대상 구체적 대상 위험 평가(SSRA)

본 연구에서는 GRA 결과를 근거로 선정된 특정 공정에서 정비 직무를 대상으로 구체적인 위험을 평가하는 템플릿(template) 사례를 제시하였다([그림 III-21] 참조). 이 템플릿은 영국의 보건안전청(Health and Safety Executive; HSE)에서 개발한 것을 기반으로 반도체/LCD/OLED 공정에 맞게 수정한 것이다. 이 템플릿에 포함할 위험 평가사항은 아래와 같다.

- 위해요인(hazard)이 무엇인가 ?
- 누가 어떻게 피해를 입을 수 있나 ?
- 위험을 관리하기 위해 이미 무엇을 하고 있나 ?
- 위험을 관리하기 위해 어떤 추가 조치가 필요하나 ?
- 누가 위험 관리를 위한 작업을 수행하나?

- 언제까지 조치가 필요한가?
- 위험관리를 마친 날짜

기업은 본 연구에서 개발한 안전보건가이드와 위험평가관리 템플릿 사례를 활용하여 다른 공정, 현장, 작업 등에 맞는 위험성평가를 수행할 수 있다.



[그림 III-21] 안전보건가이드 개발 대상공정 정비직무 대상 구체적 위험 평가 템플릿 선정 과정

참고> 영국의 보건안전청(Health and Safety Executive; HSE) 위험 관리 템플릿 사례(<https://www.hse.gov.uk/simple-health-safety/risk/risk-assessment-template-and-examples.htm>)

영국의 보건안전청(Health and Safety Executive; HSE)에서는 다양한 작업에서 적용할

수 있는 RA 템플을 제공하고 있다(HSE, 2023). 템플릿에서 담고 있는 내용은 해당 작업에서 위험에 처할 수 있는 사람이 누구인지, 어떻게 위험에 처할 수 있는지, 그 위험에 대해서 조치를 취하고 있는지, 추가적으로 취해야 하는 조치는 무엇인지, 그와 같은 액션은 누가 취해야 하는지, 그리고 언제 그런 액션을 취해야 하는지와 같은 정보가 담길 수 있도록 템플릿을 만들어두고 있다.

이를 토대로 구체적인 작업에 대해서 만들어진 RA의 예시를 제공하고 있다. 예를 들어, 제조 공장에서의 정비작업에 대한 RA예시(Example risk assessment for maintenance work in a factory)를 참고할 수 있다. 이 RA 문서에서는 템플릿에서 제공되는 형식을 따라서 정비작업에서 예상되는 유해작업에 대한 관리전략을 구체적으로 정리해 두었다. 예상되는 유해내용은 작업장이나 작업내용에 대해 잘 이해하지 못해서 발생할 수 있는 사고, 미끄러짐과 헛디딤(slips and trips), 작업장 내 차량이동에 의한 사고, 중량물 이동시의 사고, 날카로운 도구에 의한 사고, 높은 위치에서의 작업과 관련된 사고, 수동 작업 중의 사고, 보호장치가 없는 장비의 이동 중 사고, 밀폐된 장소에서의 사고, 소음, 전기사고, 석면, 그리고 화재사고 등을 예시하고 있다.

또 하나의 예시는 창고작업에 대한 RA이다. 창고 작업에서 예상되는 유해내용은 추락, 미끄러짐과 헛디딤(slips and trips), 지게차 운용과 관련된 사고, 창고 내 차량이동에 의한 사고, 포장기계에 의한 사고, 화물차에서 콘베이어벨트를 이용해 적재하다가 발생할 수 있는 사고, 이동식 전자장비를 이용하다가 발생할 수 있는 감전 사고, 화재, 유해물질(디젤연소물질, 세척제, 배터리 재충전 시 사용하는 산류 등), 조명, 그리고 창고 내 위생과 일반적인 환경 관리 등이 예시되고 있다.

(3) 전자산업(반도체/OLED/LCD) 공정의 안전보건 유해·위험 분석

전자산업에서 유해·위험물질을 다량 취급할 경우 생산설비 및 취급상의 결함으로 유해·위험물질이 누출되면 경우에 따라 빠른 속도로 공장지역 및 인근 지역으로 퍼져나가며 공장내부에서 누출될 경우 큰 위험을 초래할 수 있다. 누출되는 물질이 가연성 물질인 경우 화재·폭발을 일으킬 수 있으며, 독성물질인 경우에는 해당 공정의 근로자나 지역주민에 상해를 입히거나 인명을 빼앗아 가는 중대 산업사고를 유발할 수 있다. 또한, 전자산업의 생산설비들이 비교적 고소작업은 아니지만, 정비작업에서 사다리를 사용해야 하는 경우가 많아 추락에 의한 위험도 간과할 수 없다.

전자산업, 특히 반도체, OLED 디스플레이, LCD 제조공정의 화학물질 취급 현황을 보면, 단위사업장을 기준으로 반도체 산업에서 총 150여종, OLED 디스플레이 산업에서 130여종, LCD 산업에서 140여종 사용하는 것으로 나타났다. 이것은 2012년과 2017년 산업안전보건연구원에서 조사한 연구보고서(박승현 등, 2011) 등과 2022년 작업환경측정결과를 참고하여 화학물질중 CAS(Cheical Abstract Service)번호가 있는 물질을 대상으로 나타낸 통계이다(〈표 III-7〉 참조).

〈표 III-7〉 전자산업(반도체/OLED/LCD)의 공정별 화학물질 취급 현황(부산물 포함)

산업	생산 라인	공정	단위공정	화학물질 수 (CAS NO.)	TOTAL	CMR 물질수
반도체	가공 라인 (Fab)	산화	산화→열처리	15	100 여종	4
		포토	세정→PR도포→노광→현상→건조	37		12(5)
		식각	습식, 건식 식각	33		8(3)
		증착	화학적 기상증착(CVD), 물리적 기상증착	20		5(1)

산업	생산 라인	공정	단위공정	화학물질 수 (CAS NO.)	TOTAL	CMR 물질수
			(Sputter)			
		이온주입	입자가속, 웨이퍼 주입 (임플란터)	5		2(1)
		연마	연마, 평탄화	4		0
	조립 라인 (Assembly)	후면연마	back grind(B/G) 또는 back lap(B/L)	3	50 여종	1(1)
		웨이퍼 절단	절단	4		1(1)
		칩접착	접착, 경화	11		6(5)
		몰드	몰드, 경화, 금형세정	30		12(6)
		인쇄	레이저, 잉크 마킹	4		2(1)
		도금	주석도금	7		3(2)
		솔더볼 부착	플럭스(flux), 솔더볼	7		3(2)
		테스트	Monitoring burn-in test (MBT)	2		1
		검사	X-선 형광분석기	0		0
OLED	Fab 라인	백플레인 (전극, Patterning, TFT)	세정	7	72 여종	6
			포토	35		15(6)
			식각	25		9(3)
			박리	5		4
		화소형성 (증착)	진공 및 유기박막 증착, 금속전극 증착	20	20 여종	7
		봉지	Rigid OLED	12	20 여종	6(2)
			Flexile OLED	8		

산업	생산 라인	공정	단위공정	화학물질 수 (CAS NO.)	TOTAL	CMR 물질수
LCD	모듈 라인	Module	편광판 부착	4	18 여종	2(1)
			PCB 부착	10		
			구동칩	4		
	Fab 라인	TFT	세정	5	60 여종	0
			증착	14		2
			포토	18		1(1)
			식각	20		1(1)
			박리	9		4
		C/F	세정	10	40 여종	0
			증착	4		2
			포토	30		5(5)
		Cell	배향(PI) 및 러빙	20	25 여종	5(1)
			액정주입 및 후공정	5		1(1)
	모듈 라인	Module	세정	4	20 여종	0
			편광판 부착	4		0
			PCB 부착	15		2(1)
			조립 및 검사	0		0

* ()는 발암물질수

이번 연구에서 전자산업의 반도체, OLED, LCD 제조공정의 안전보건 유해·위험 평가를 통해 각 단위공정의 정비직무 가이드 개발의 우선순위를 정하는데 활용하였다.

먼저, 안전 및 보건(건강)의 유해·위험요소의 경우 안전위험요소는 화재·폭발, 감전, 추락, 질식, 기계 접촉 손상 등과 건강유해인자로는 화학물질, CMR 물질, 엑스선, 전자파(라디오파, 극저주파), 온열(고열) 등으로 구분하였다. 또

한, 유해·위험 평가기준은 [표 III-8]과 같이 전자산업 공정 직무별 안전보건 위험 평가에서 안전사고와 건강 유해인자 노출 발생 확률(probability)과 [표 III-9]에서 전자산업공정 직무별 안전 및 건강 영향 사고의 심각성(severity)에 대해서 경중(매우낮음, 낮음, 중등, 높음)을 4단계로 구분하여 점수화하였다.

〈표 III-8〉 전자산업 공정 직무별 안전보건 위험 평가에서 안전사고와 건강 유해인자 노출 발생 확률(probability)

범주 (점수)	안전위험 요소 1) 위험 사고 발생 가능성	건강 유해인자 2) 노출 가능성
매우 낮음: 1	안전사고 사례 없음. 안전조치/장치 모두 설치	공정 전체 해당. 낮은 화학물질 농도/크린 룸에서 물질 노출 등
낮음: 2	안전 사고 가능성 매우 낮음. 과거 사고 사례 일부 있거나 가능성 있음	운전자: 노출기준 이하, 정비자: 단시간 발생/노출, <2시간/1일
중등: 3	안전 사고 가끔 발생. 일부 안전 조치 결함 있음	정비자: 정비 작업 2-4시간/1일 유해인자(물질) 직접 취급 발생 및 노출
높음: 4	안전 사고 빈번하게 발생함. 많은 곳에서 안전장치/조치 없음	정비자: 정비 작업 >4시간/1일 유해인자(물질) 직접 취급 발생 및 노출

〈표 III-9〉 전자산업 공정 직무별 안전 및 건강 영향 사고의 심각성(severity)

범주 (점수)	안전위험 요소 위험 사고 심각성	건강 유해인자 노출로 인한 질병 심각성
매우 낮음: 1	1일 이하 업무 지장 부상	업무에 영향 미치지 않음. 편한하지 않음 느낌, 증상(방진복/마스크 착용 등). 의료 치료 필요하지 않음: 전 공정 해당
낮음: 2	안전사고(1-4일 이하): 간단한 의료 치료 요구: 산업재해 해당되지 않은 손상	가역적 건강영향 초래, 직무 수행 영향 초래
중등: 3	입원 병원 치료 필요한 안전 사고 사례 다수/1명 사망 또는 치명적 손상 <질식, 추락, 감전 등>	비가역적 급성/만성 질병 초래: 호흡기 질환/피부 질환 등
높음: 4	1명 이상 사망 또는 치명적 손상/주변 근로자 손상/공정 운전 정지 등<화재, 폭발, 화학물질 누출 등 해당>	비가역적 급성 중독/만성 질병 초래: 진폐, 암, 생식독성, 돌연변이 등

유해화학물질 중 CMR(Carcinogenic, mutagenic or reprotoxic)물질에 대한 건강유해인자는 화학물질 노출 및 누출이라는 카테고리가 있어 너무 편중되는 감이 있어 노출 확률 및 심각성을 3단계(매우 낮음, 낮음, 중등)로 분류하여 점수화 하였고 해당공정당 CMR 물질수와 발암물질(Carcinogenic)수를 기준으로 하였다. 즉 CMR물질이 10개 이상인 경우 확률점수 3점, CMR물질이 4개 이상 10개 미만인 경우 확률점수 2점, CMR물질이 4개 미만인 경우 1점을 부여하였고 심각도는 해당공정에 발암물질이 5개 이상이면 심각도 점수 3점, 발암물질이 2개에서 4개 까지는 2점, 1개 미만이면 1점을 부여하였다. 이때 발암물질은 해당공정에서 부산물로 발생할 가능성이 있는 물질도 포함시켰다.

위와 같은 평가기준에 따라 반도체 제조공정에서 공정별 정비직무별 종합적 유해·위험평가 결과는 <표 III-10>과 같다. 공정별 총괄위험수준의 크기순서는 포토>이온주입>증착>식각 등의 순으로 나타났다. 반도체 산업의 전통적인 핵심공정인 포토, 증착, 식각 공정이 위험의 크기가 높은 것으로 평가되었다. 위의 평가기준은 2012년도 연구보고서를 기준으로 하였고 그 이후 부산물중 발암성물질의 발생을 억제하거나 제거했다고 가정한다면, 공정별 총괄 위험수준은 이온주입>증착>식각>포토 등의 순서로 포토공정의 위험수준의 크기가 줄어들 수 있다.

〈표 III-10〉 반도체 공정별 정비직무별 종합적 유해·위험 평가
(general risk assessment) 결과

산업과 공정	구분	기계적 위험	화재 폭발	전기적 위험	추락	질식	화학 물질 누출	화학 물질 노출	CMR	엑스선	전자파	온열	총괄 위험 수준
Fab공정													
산화	확률	1	1	1	1	1	1	3	2	0	3	1	35
	심각성	1	4	1	3	4	4	3	1	0	2	1	
	위험 크기	1	4	1	3	4	4	9	2	0	6	1	

산업과 공정	구분	기계적 위험	화재 폭발	전기적 위험	추락	질식	화학 물질 누출	화학 물질 노출	CM R	엑스 선	전자 파	온열	총괄 위험 수준
포토	확률	1	1	1	1	1	1	3	3	0	3	0	41
	심각성	1	4	1	3	4	4	3	3	0	2	0	
	위험 크기	1	4	1	3	4	4	9	9	0	6	0	
포토 (부산물제외)	확률	1	1	1	1	1	1	3	2	0	2	0	34
	심각성	1	4	1	3	4	4	3	2	0	2	0	
	위험 크기	1	4	1	3	4	4	9	4	0	4	0	
식각	확률	1	1	1	1	1	1	3	2	0	3	0	36
	심각성	1	4	1	3	4	4	3	2	0	2	0	
	위험 크기	1	4	1	3	4	4	9	4	0	6	0	
증착/박막 (CVD)	확률	1	1	2	1	1	1	3	2	0	3	1	38
	심각성	1	4	2	3	4	4	3	1	0	2	1	
	위험 크기	1	4	4	3	4	4	9	2	0	6	1	
이온주입	확률	1	1	2	1	1	1	3	1	2	3	1	41
	심각성	1	4	2	3	4	4	3	1	2	2	1	
	위험 크기	1	4	4	3	4	4	9	1	4	6	1	
연마 (CMP)	확률	1	1	1	0	0	1	2	1	0	1	0	16
	심각성	1	4	1	0	0	4	2	1	0	1	0	
	위험 크기	1	4	1	0	0	4	4	1	0	1	0	
○조립 공정	확률	1	1	1	1	0	1	2	1	2	1	0	21
	심각성	3	2	1	3	0	4	2	1	1	1	0	
	위험 크기	3	2	1	3	0	4	4	1	2	1	0	
Non-fab 공정													
화학물질	확률	1	1	1	1	0	2	3	1	0	0	0	25

산업과 공정	구분	기계적 위험	화재 폭발	전기적 위험	추락	질식	화학 물질 누출	화학 물질 노출	CM R	엑스 선	전자 파	온열	총괄 위험 수준
크린룸 공급	심각성	1	4	1	1	0	4	3	1	0	0	0	
	위험 크기	1	4	1	1	0	8	9	1	0	0	0	
스크라바 정비	확률	1	1	1	1	2	1	3	1	0	1	1	28
	심각성	1	4	1	1	4	1	3	1	0	1	1	
	위험 크기	1	4	1	1	8	1	9	1	0	1	1	

다음에는 OLED 디스플레이 제조공정에서 공정별 정비직무별 종합적 유해·위험평가 결과는 <표 III-11>와 같다. 공정별 총괄위험수준의 크기순서는 증착(화소형성)>TFT(백플레인)>봉지>스크라바 정비 등의 순으로 나타났다. OLED 디스플레이 산업의 핵심공정이라 할 수 있는 증착, TFT(식각 등) 공정이 위험의 크기가 높은 것으로 평가되었다.

〈표 III-11〉 OLED 디스플레이 공정별 정비직무별 종합적 유해·위험 평가 결과

산업과 공정		기계적 위험	화재 폭발	전기적 위험	추락	질식	화학 물질 누출	화학 물질 노출	CM R	엑스 선	전자 파	온열	총괄 위험 수준
Fab 라인													
백플레인 (TFT)	확률	1	1	2	1	1	2	3	3	0	2	2	35
	심각성	1	4	2	1	2	2	3	2	0	1	1	
	위험 크기	1	4	4	1	2	4	9	6	0	2	2	
화소형성(증착): 증착방법별 구분													
열증착 (Thermal)	확률	1	1	2	0	0	0	3	2	0	2	3	27
	심각성	1	4	2	0	0	0	3	2	0	1	1	
	위험 크기	1	4	4	0	0	0	9	4	0	2	3	

산업과 공정		기계적 위험	화재 폭발	전기적 위험	추락	질식	화학 물질 누출	화학 물질 노출	CM R	엑스 선	전자 파	온열	총괄 위험 수준
스퍼터링	확률	1	1	2	1	1	0	3	2	0	2	3	32
	심각성	1	4	2	1	4	0	3	2	0	1	1	
	위험 크기	1	4	4	1	4	0	9	4	0	2	3	
Organic vapor phase deposition (OVPD)	확률	1	1	2	1	1	1	3	2	0	2	3	36
	심각성	1	4	2	1	4	4	3	2	0	1	1	
	위험 크기	1	4	4	1	4	4	9	4	0	2	3	
Chemical vapor deposition (CVD)	확률	1	1	2	1	1	1	3	2	0	2	3	36
	심각성	1	4	2	1	4	4	3	2	0	1	1	
	위험 크기	1	4	4	1	4	4	9	4	0	2	3	
봉지	확률	1	1	2	1	1	1	3	2	0	2	3	28
	심각성	1	2	2	1	1	1	3		0	1	1	
	위험 크기	1	2	4	1	1	1	9	4	0	2	3	
모듈 라인	확률	1	1	2	1	1	0	2	1	1	2	2	20
	심각성	1	2	2	1	2	0	2	1	1	1	1	
	위험 크기	1	2	4	1	2	0	4	1	1	2	2	
Non-fab 라인													
- 화학물질 크린룸 공급	확률	1	1	1	1	0	2	3	1	0	0	0	25
	심각성	1	4	1	1	0	4	3	1	0	0	0	
	위험 크기	1	4	1	1	0	8	9	1	0	0	0	
- 스크라바 정비	확률	1	1	1	1	2	1	3	1	0	1	1	28
	심각성	1	4	1	1	4	1	3	1	0	1	1	
	위험 크기	1	4	1	1	8	1	9	1	0	1	1	

마찬가지로 위와 같은 방법으로 평가한 LCD 제조공정에 대한 공정별 정비 직무별 종합적 유해·위험평가 결과는 <표 III-12>와 같다. 공정별 총괄위험수준의 크기순서는 박막증착(CVD)>식각>포토>박리 등의 순으로 나타났다. LCD 산업의 핵심공정이라 할 수 있는 증착, 식각, 포토 등의 공정이 위험의 크기가 높은 것으로 평가되었다.

〈표 III-12〉 LCD 디스플레이 공정별 정비직무별 종합적 유해·위험 평가 결과

산업과 공정		기계 적 위험	화재 폭발	전기 적 위험	추락	질식	화학 물질 누출	화학 물질 노출	CMR	엑스 선	전자 파	온열	총괄 위험 수준
Fab 라인													
세정	확률	1	1	1	1	1	1	3	0	0	3	0	32
	심각성	1	4	1	3	4	4	3	0	0	2	0	
	위험 크기	1	4	1	3	4	4	9	0	0	6	0	
포토	확률	1	1	1	1	1	1	3	1	2	2	0	35
	심각성	1	4	1	3	4	4	3	1	2	2	0	
	위험 크기	1	4	1	3	4	4	9	1	4	4	0	
식각	확률	1	1	1	1	1	1	3	1	2	3	0	37
	심각성	1	4	1	3	4	4	3	1	2	2	0	
	위험 크기	1	4	1	3	4	4	9	1	4	6	0	
박리	확률	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	1	33
	심각성	1	4	1	3	3	4	2	1	2	2	1	
	위험 크기	1	4	1	3	3	4	4	2	4	6	1	
박막증착 (CVD)	확률	1	1	1	1	1	1	3	2	2	3	1	40
	심각성	1	4	1	3	4	4	3	1	2	2	1	
	위험 크기	1	4	1	3	4	4	9	2	4	6	1	

산업과 공정		기계 적 위험	화재 폭발	전기 적 위험	추락	질식	화학 물질 누출	화학 물질 노출	CMR	엑스 선	전자 파	온열	총괄 위험 수준
배향 및 러빙	확률	1	1	2	1	1	1	2	2	2	3	1	36
	심각성	1	4	2	3	3	4	2	1	2	2	1	
	위험 크기	1	4	4	3	3	4	4	2	4	6	1	
조립 라인	확률	1	1	1	1	0	1	2	1	2	1	0	21
	심각성	3	2	1	3	0	4	2	1	1	1	0	
	위험 크기	3	2	1	3	0	4	4	1	2	1	0	
Non-fab 라인													
화학물질 크린룸 공급	확률	1	1	1	1	0	2	3	1	0	0	0	25
	심각성	1	4	1	1	0	4	3	1	0	0	0	
	위험 크기	1	4	1	1	0	8	9	1	0	0	0	
스크라바 정비	확률	1	1	1	1	2	1	3	1	0	1	1	28
	심각성	1	4	1	1	4	1	3	1	0	1	1	
	위험 크기	1	4	1	1	8	1	9	1	0	1	1	

5) 소결

전자산업을 대표하는 반도체, OLED, LCD산업의 제조공정 등을 보면, 생산제품과 제조특성에 따라 약간의 차이는 있지만, 반도체 산업은 산화-포토-식각-증착-이온주입 공정들로 이어지는 Fab라인과 연마-절단-접착-몰드-검사 공정들로 이어지는 조립라인으로 구성되며 OLED산업은 백플레인(TFT)-증착(화소형성)-봉지 공정들로 이어지는 Fab라인과 편광판 및 PCB부착-구동칩 조립 공정들로 이어지는 모듈(Module) 라인으로 구성되며 LCD산업은 TFT-C/F-CELL 등의 공정들로 이어지는 Fab라인과 편광판 및 PCB부착-구

동칩 조립 공정들로 이어지는 모듈(Module) 라인으로 구성된다.

이들 산업에서의 정비작업 중 유해·위험요인으로는 세척제 등이 바닥에 흘렸을 경우 미끄러짐, 배관 및 부품 등 운반 시 넘어짐, 설비 및 기기 정비작업 시 사다리 작업으로 인한 떨어짐 사고도 발생할 수 있다. 또한, 정비작업중 부품 세척, 청소 등으로 끼임사고가 발생할수 있으며 설비 내부에서 청소작업 시 시설물에 의해 부딪힘 사고가 일어날 수 있다. 전자산업 설비의 상당수가 고전압을 이용하여 작동하므로 감전 등과 같은 전기적 위험, 이온주입을 위한 입자가속기에서의 엑스선 발생, 생산설비에서 발생하는 극저주파 등 전자파와 방사선에 의한 위험, 그리고 다양한 세척공정에서 사용되는 불산, 황산 등 산류 또는 암모니아수 등 알칼리류 또는 고온에 접촉할 경우 화상의 위험도 존재한다. 또한, 다양한 화학물질 취급으로 유해·위험물질이 누출되거나 노출로 인한 화재·폭발, 근로자 및 지역주민의 중독·상해 등과 같은 중대산업사고가 발생할 수도 있다.

지금까지 전자산업의 이러한 공정들에 대한 안전보건상의 유해·위험 요인들에 대해 열거하고 안전보건 유해위험 평가를 실시하였다. 유해·위험 평가기준은 공정 직무별 안전보건 위험 평가에서 안전사고 위험요소와 건강 유해인자 노출에 대한 발생 확률(probability) 관점과 공정 직무별 안전 및 건강 영향에 대한 사고의 심각성(severity)에 대해서 경중(매우낮음, 낮음, 중등, 높음)을 4단계로 구분하여 점수화하였고 안전위험요소는 기계적 위험, 화재·폭발, 전기적 위험, 추락, 질식, 화학물질 누출 등 6개 항목과 건강유해요소로는 화학물질 노출, CMR물질, 엑스선, 전자파(라디오파, 극저주파), 온열 등 5개 항목으로 평가하였다. 종합 평가결과, 반도체 산업은 첨단 핵심공정인 포토, 증착, 식각 공정이 위험의 크기가 높은 것으로 평가되었지만, 부산물(발암성 물질 다수 포함)을 제외한다면, 공정별 총괄위험수준은 이온주입>증착>식각>포토 등의 순서로 포토공정의 위험수준의 크기는 줄어든다. OLED 디스플레이 산업은 공정별 총괄위험수준의 크기는 증착(화소형성)>TFT(백플레인)>봉지>스크라바 정비 등의 순으로 나타났고 LCD 산업의 공정별 총괄위험수준

의 크기는 박막증착(CVD) > 식각 > 포토 > 박리 등의 순으로 나타났다.

이와 같은 전자산업의 반도체, OLED 등의 제조공정에서 공정별 정비직무별 종합적 위험평가 결과를 토대로 총괄위험수준 점수가 큰 순서와 사업장의 접근, 출입, 참여 등의 제반 여건을 검토하여 이들 공정에 대한 안전보건 가이드를 개발하기 위한 우선순위를 결정하는데 참고할 필요가 있다.

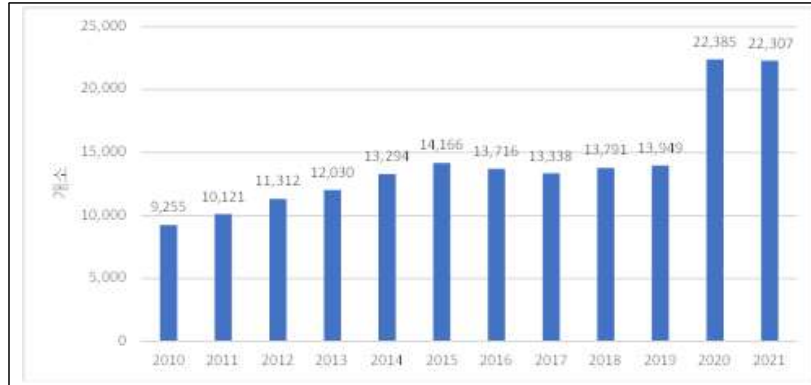
2. 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 원하청 현황

1) 전자산업 사업체 추정 현황

(1) 사업체 수 변화

○ 전자산업 내 전체 사업체 수 추이를 보면 2010년도 9,255개소에서 2021년 22,307개로 증가하였다²²⁾. 기간 동안의 증가율은 141.0%이다. 2021년 기준, 전자산업 사업체 수는 전체 제조업 사업체 579,050개소 중 3.8%를 차지하고 있다. 제조업 내 25개 중분류 산업 기준으로 금속가공제품 제조업(15.2%) > 식료품 제조업(12.4%) > 기타 기계 및 장비 제조업(12.2%) > 섬유 제품 제조업 및 고무, 플라스틱 제조업(5.3%) > 의복, 의복 액세서리 및 모피제품 제조업(5.1%) > 기타 제품 제조업(5.0%) > 인쇄업(3.9%) 다음으로 사업체 수가 많다.

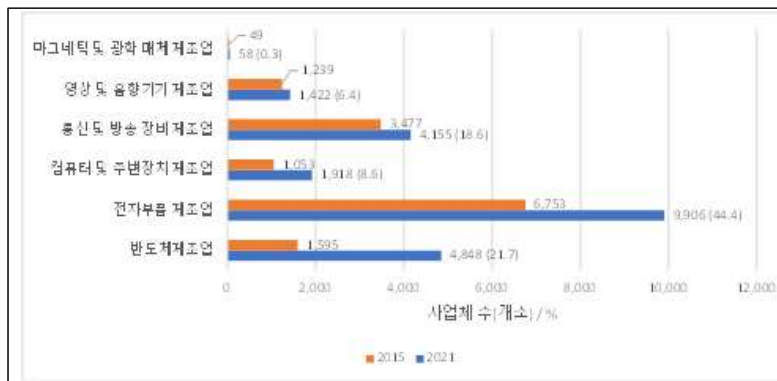
22) 가게, 사무실 등 물리적 장소가 있는 사업체만을 대상으로 했던 기존 조사와 달리 2020년 조사부터는 각종 행정자료를 통합한 '기업통계등록부' DB를 이용해 조사 대상 사업체를 선정하였기에 조사 대상 사업체 범위가 대폭 확대되어 2020년부터 사업체 수가 큰 폭으로 증가하였다.



* 전국사업체조사, 각년도

[그림 Ⅲ-22] 전자산업 사업체 수 추이

○ 2015년 대비 2021년 전자산업 내 하위 산업별 사업체 수 증감 현황을 보면 모든 산업에서 5년 전 대비 사업체 수가 증가하였다. 특히 반도체 제조업과 전자부품 제조업에서 큰 폭으로 사업체 수가 증가했다. 반도체 제조업에서 사업체 수 증가는 실제 반도체를 제조하는 ‘전자집적회로 제조업’이 아닌, ‘다이오드·트랜지스터 및 유사 반도체소자 제조업’에서 사업체 수가 증가하였다. 전자부품 제조업에서의 사업체 수 증가 또한 ‘기타 전자부품제조업’에서 사업체 수가 증가하였다.



* 전국사업체조사, 각년도. 괄호 안 수치는 비율치임

[그림 Ⅲ-23] 전자산업 소분류 산업별 사업체 현황

(2) 규모별 사업체 수 변화

○ 종사자 규모별 사업체 수 추이를 보면 2021년 기준 전체 전자산업 사업체 중 67.4%인 15,027개소가 종사자 규모 5인 미만 사업체이다. 5~9인 사이의 사업체 수가 3,652개소로 16.4%이다. 10인 미만 사업체가 전체 전자사업체중 83.8%를 차지하고 있는 셈이다.

〈표 Ⅲ-13〉 규모별 사업체 수 추이

(단위 : 개소)

구분	2010	2013	2016	2019	2021	제조업 전체(2021)
1 - 4명	3,341 (36.1%)	5,003 (41.6%)	6,490 (47.3%)	6,844 (49.1%)	15,027 (67.4%)	426,107 (73.6%)
5 - 9명	2,129 (23.0%)	3,042 (25.3%)	3,540 (25.8%)	3,634 (26.1%)	3,652 (16.4%)	79,962 (13.8%)
10 - 19명	1,540 (16.6%)	1,612 (13.4%)	1,451 (10.6%)	1,460 (10.5%)	1,645 (7.4%)	38,477 (6.6%)
20 - 49명	1,312 (14.2%)	1,357 (11.3%)	1,290 (9.4%)	1,213 (8.7%)	1,206 (5.4%)	24,153 (4.2%)
50 - 99명	455 (4.9%)	502 (4.2%)	484 (3.5%)	398 (2.9%)	381 (1.7%)	6,321 (1.1%)
100 - 299명	361 (3.9%)	383 (3.2%)	332 (2.4%)	279 (2.0%)	285 (1.3%)	3,291 (0.6%)
300 - 499명	37 (0.4%)	55 (0.5%)	54 (0.4%)	52 (0.4%)	46 (0.2%)	419 (0.1%)
500 - 999명	37 (0.4%)	37 (0.3%)	46 (0.3%)	39 (0.3%)	31 (0.1%)	191 (0.0%)
1000명 이상	43 (0.5%)	39 (0.3%)	29 (0.2%)	30 (0.2%)	34 (0.2%)	129 (0.0%)
계	9,255 (100.0%)	12,030 (100.0%)	13,716 (100.0%)	13,949 (100.0%)	22,307 (100.0%)	579,050 (100.0%)

* 전국사업체조사, 각년도.

- 2021년 기준으로 규모별 사업체 수 비율을 제조업 전체와 비교해 보면 제조업에서 5인 미만 사업체 비율은 73.6%로 전자산업이 상대적으로 5인 미만 사업체 비율이 낮은 편이다. 반대로 500인 이상의 중·대규모 사업체 비율은 제조업 평균 대비 높게 나타나고 있다.
- 한 가지 특징은 2016년 이후 증가한 사업체의 대부분이 5인 미만의 소규모 사업체라는 점이다. 아울러 지난 10년간 20명 이상 ~ 300인 미만 규모와 500인 이상 규모에서는 사업체 수 자체가 감소하였다. 300인 미만, 특히 100인 미만 규모의 경우는 물리적으로 폐업하는 경우가 상당 수라 할 수 있지만 500인 이상 대규모의 경우에는 사업체의 조직변경(합병, 분사 등)에 따른 사업체 수 감소가 대부분일 것으로 판단된다.
- 규모별-소분류 산업별 사업체 현황을 보면 5인 미만 사업체가 가장 많은 산업은 전자부품 제조업으로 6,500개소를 넘어서고 있다. 그 다음은 반도체 제조업 > 통신 및 방송장비 제조업 순서이다. 1,000인 이상 대규모 사업체가 가장 많은 산업은 반도체 제조업 > 전자부품 제조업이다.

〈표 III-14〉 규모별-소분류 산업별 사업체 수(2021년)

(단위 : 개소)

구분	반도체 제조업	전자부품 제조업	컴퓨터 및 주변장치 제조업	통신 및 방송 장비 제조업	영상 및 음향기기 제조업	마그네틱 및 광학 매체 제조업
1 - 4명	3,703 (24.6%)	6,575 (43.8%)	1,379 (9.2%)	2,384 (15.9%)	934 (6.2%)	52 (0.3%)
5 - 9명	640 (17.5%)	1,662 (45.5%)	270 (7.4%)	838 (22.9%)	237 (6.5%)	5 (0.1%)
10 - 19명	187 (11.4%)	746 (45.3%)	132 (8.0%)	458 (27.8%)	121 (7.4%)	1 (0.1%)
20 - 49명	152 (12.6%)	549 (45.5%)	97 (8.0%)	320 (26.5%)	88 (7.3%)	-
50 - 99명	56 (14.7%)	189 (49.6%)	28 (7.3%)	86 (22.6%)	22 (5.8%)	-

구분	반도체 제조업	전자부품 제조업	컴퓨터 및 주변장치 제조업	통신 및 방송 장비 제조업	영상 및 음향기기 제조업	마그네틱 및 광학 매체 제조업
100 - 299명	67 (23.5%)	139 (48.8%)	10 (3.5%)	53 (18.6%)	16 (5.6%)	-
300 - 499명	15 (32.6%)	18 (39.1%)	1 (2.2%)	9 (19.6%)	3 (6.5%)	-
500 - 999명	11 (35.5%)	16 (51.6%)	1 (3.2%)	2 (6.5%)	1 (3.2%)	-
1000명 이상	17 (50.0%)	12 (35.3%)	-	5 (14.7%)	-	-
계	4,848 (21.7%)	9,906 (44.4%)	1,918 (8.6%)	4,155 (18.6%)	1,422 (6.4%)	58 (0.3%)

* 전국사업체조사.

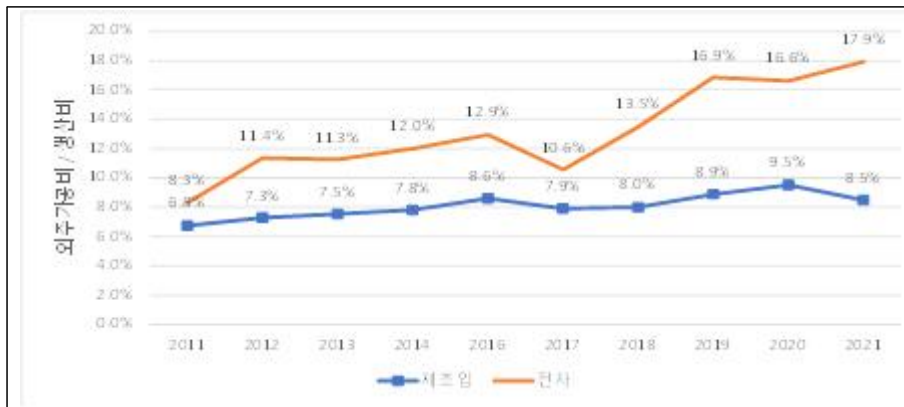
- 하위 산업별로 사업체 수 비율치를 보면 모든 산업에서 5인 미만 사업체의 비율치가 가장 높게 나타나고 있다. 반도체 제조업은 다른 소분류 산업에 비해 1,000인 이상의 대규모 사업체 수와 비율치가 높은 편이다. 전자집적회로(반도체) 제조업과 같은 자본집약형 산업이 포함되어 있기에 나타난 결과이다.

2) 하도급 구조와 실태 추정

- 앞서 서술한 것처럼 전자산업은 국내는 물론, 글로벌 가치사슬로 불릴 정도로 국경을 넘어서 하도급 구조를 형성해 왔다. 광업제조업조사에서 하청 실태를 파악할 수 있는 대표 지표가 외주가공비와 임가공 수입액이다.

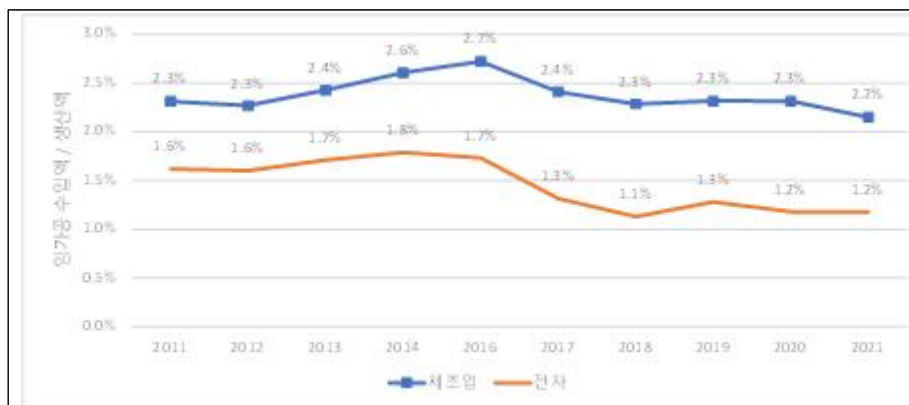
[그림 Ⅲ-24] 전자산업 임가공 수입 및 외주가공비 추이²³⁾

- 2011년 ~ 2021년까지의 외주가공비 추이를 보면 2017년 이후 외주가공비가 급증해 2021년 25조 9천억 원에 이르고 있다. 전자산업의 임가공 수입액은 2014년까지는 거의 변화 없이 정체되었다가, 2016년 이후 완만한 감소세를 보이고 있다. 2021년 기준 임가공 수입액은 3조 7,100억 원 수준이다.

[그림 Ⅲ-25] 전체 생산비 대비 외주가공비 비율²⁴⁾

23) 광업제조업조사, 각년도

24) 광업제조업조사, 각년도



[그림 III-26] 전체 생산액 대비 임가공 수입액 비율²⁵⁾

- 전체 생산비 대비 외주가공비 비율 추이를 보면 전자산업의 외주가공비 비율이 2017년 이후 증가세를 보이고 있다. 전체 제조업의 해당 비율이 8% 수준으로 고착되어 있는 것과 대비된다. 반면 전자산업 사업체의 전체 생산액(≒매출액) 대비 임가공 수입액 비율은 1%대에서 고착화된 상황을 보이고 있다. 전자산업의 외주가공비가 증가세를 보이고 있음에도 임가공 수입액은 거의 변화가 없는 것이다. 국제 분업구조가 발달한 산업이라는 점에서 해외 전자사업체를 통한 외주 가공이 확대되면서 나타난 결과로 판단된다.

(1) 임가공 세부 현황²⁶⁾

- 제조업은 하청구조가 발달된 대표 산업이다. 임가공은 하도급(하청)의 한 유형이지만 전형적인 하도급과는 구분된다. 하도급은 수급사업자(사업

25) 광업제조업조사, 각년도.

26) 임가공 및 외주가공 세부 현황은 광업제조업조사 원자료(raw data)를 분석해야 하는데, 현재 공개된 가장 최근의 원자료가 2019년도 자료이다. 그에 따라 현재 시점과 약간의 시차가 존재한다. 재화의 주요 자재를 전혀 부담하지 않고 다른 사람이 의뢰한 바에 따라 재화를 단순히 가공해 주는 것을 말한다. 주요 자재를 부담하지 않는 한 주요자재가 아닌 자재를 부담하는 것은 관계가 없으며 임가공은 용역의 범위에 속한다.

체)가 자신의 자본으로 자신의 책임하에 물품(특정 서비스)을 제조·납품하거나 특정 용역을 제공하는 것을 의미한다²⁷⁾. 하지만 임가공은 위탁자가 자신이 직접 구매한 주요 원재료를 수급사업자(사업체)에게 제공하여 제조 위탁하면 수급사업자(업체)가 자신의 용역을 제공하여 완제품을 만든 후 위탁회사에 제공하고 임가공(용역)수수료를 받는 구조를 의미한다. 하도급의 하위 유형중 하나로서 ‘가공’만 하고서 그 대가를 수취하는 구조라는 점에서 하도급 구조 중 가장 취약한 형태라 할 수 있다.

- 각 년도별로 조사에 포함된 업체 수는 아래와 같다. 앞서 통계자료 설명에서 밝힌 것처럼 광제조사는 상시고용 10인 이상 사업체를 대상으로 조사를 진행하기에 매년 조사 대상 사업체 수에 변동이 있다.

〈표 III-15〉 광업·제조업 조사 참여 사업체 및 임가공 사업체 현황

(단위 : 개소)

구분	2011	2016	2019
제조업(A)	63,047	68,790	69,639
임가공업체 수(B)	11,813	12,739	11,152
B/A	18.7%	18.5%	16.0%
전자산업(C)	4,027	3,804	3,428
임가공업체 수(D)	968	946	665
D/C	24.0%	24.9%	19.4%

* 광업·제조업 조사 원자료, 각년도

- 지난 10여년간 광제조사 대상 사업체 수는 증가했지만 전자산업 사업체 수는 감소하였다. 그에 따라 전자산업 사업체 수 비중치(C/A) 또한 2011년

27) ‘하도급거래 공정화에 관한 법률’상 하도급의 정의는 다음과 같다. ‘원사업자가 수급사업자에게 제조위탁(가공위탁을 포함한다. 이하 같다)·수리위탁·건설위탁 또는 용역위탁을 하거나 원사업자가 다른 사업자로부터 제조위탁·수리위탁·건설위탁 또는 용역위탁을 받은 것을 수급사업자에게 다시 위탁한 경우, 그 위탁(이하 “제조등의 위탁”이라 한다)을 받은 수급사업자가 위탁받은 것(이하 “목적물등”이라 한다)을 제조·수리·시공하거나 용역수행하여 원사업자에게 납품·인도 또는 제공(이하 “납품등”이라 한다)하고 그 대가(이하 “하도급대금”이라 한다)를 받는 행위를 의미한다’(법 제 2조).

6.4%에서 4.9%로 하락하였다. 임가공 사업체(임가공수입액 > 0 인 업체) 수도 2011년 968개소에서 2019년 665개소로 감소하였다. 제조업 임가공 사업체 수 대비(D/B) 비율치 또한 8.2%에서 6.0%로 하락하였다.

- 전자산업내 임가공 사업체 수 비율치(C/D)는 2011년 24.0%에서 2016년 24.9%, 다시 2019년 19.4%로 하락하였다. 제조업 전체에서도 임가공 사업체 수 비율은 2011년 18.7%에서 2019년 16.0%로 하락하였다. 전자산업내 임가공 사업체 수 비율치는 제조업 평균을 넘어서고 있다.

가) 임가공 사업체 세부 현황

- 사업체 규모별로 임가공 수입액 현황을 보면 모든 규모에서 2011년 대비 2019년 임가공 수입액 평균이 증가하였다. 500인 이상 규모의 경우 2016년 임가공 수입액 평균이 1,691억원까지 증가했다가 이후 감소해 1,010억원 규모로 나타났다. 매출액 대비 임가공수입액 비율치도 거의 변화가 없는 편이며, 500인 이상에서 2016년 금액과 비율이 큰 폭으로 증가한 후 2019년에 하락하였다. 제조업 전체와 비교시 모든 규모에서 전자산업의 매출액 대비 임가공 수입액 비율이 높게 나타나고 있다.

〈표 III-16〉 임가공 수입 금액 평균 및 매출액 대비 비율 평균

(단위 : 억 원, %)

구분	2011		2016		2019		
	금액	비율	금액	비율	금액	비율	제조업 전체 비율
10~19명	10.2	96.6	13.8	96.0	16.5	96.2	94.4
20~49명	26.2	91.5	25.0	92.9	34.1	95.3	86.1
50~99명	58.4	87.3	48.6	89.6	68.4	87.2	77.6
100~199명	120.7	77.9	81.6	83.3	121.9	89.5	74.4
200~299명	102.2	77.8	151.5	90.1	170.6	80.5	66.6
300~499명	193.1	60.0	186.1	99.9	200.6	100.0	51.2
500명이상	138.3	15.7	1,691.8	61.8	1,010.9	35.3	20.3
전체	34.1	91.0	39.3	93.0	46.5	93.7	88.7

* 광업·제조업 조사, 각년도

- 전자산업 임가공 사업체의 규모별 현황을 보면 대부분의 임가공 사업체는 50인 미만의 소규모 사업체이다. 특히 20인 미만 사업체가 40% 넘게 차지하고 있다. 소규모 사업체일수록 하청구조에 편입되어 있다는 점이 확인되고 있다.
- 광업제조업 조사에 포함된 전자산업 사업체 수가 감소하였다는 점에서 규모별 사업체 수 또한 감소하였지만 비율치로는 20인 미만에서 2019년 49.0%로 높게 나타나고 있다. 50인 미만까지 포함할 경우, 임가공 사업체의 79.4%에 이르고 있다. 대체로 소규모 사업장에서 임가공을 하고 있는 셈이다. 반면 200인~300인 미만 사업체의 비율치 또한 2011년 3.2%에서 1.5%로 낮아졌다.



[그림 III-27] 규모별 임가공 사업체 비율²⁸⁾

- 전자산업 임가공 구조에서 특징은 생산액(≒매출액)중 오로지 임가공 수입만 있는 사업체, 즉 임가공만 하는 사업체의 비율치가 90%에 육박하고 있다는 점이다.

28) 광업제조업조사 원자료, 각



[그림 Ⅲ-28] 임가공 ‘수입’만 있는 전자산업 사업체 현황²⁹⁾

- 전자산업내 임가공 수입이 있는 사업체 10곳 중 9곳은 오로지 임가공만 하고 있는 사업체이다. 그만큼 외부 변화에 취약한 사업체 비율이 상대적으로 높은 편이라 할 수 있다.

나) 임가공 수입액 비율

- 임가공 사업체의 매출액 대비 임가공 수입액 비율을 보면 50인 미만의 소규모 사업체의 경우에는 거의 100%에 이르고 있다. 50인 초과 ~ 300인 미만에서는 80% 대를 보이고 있다. 300인 이상에서는 년도별로 임가공 수입액 비율이 등락을 하고 있다. 2019년 300인초과~500인 미만 규모인, 상대적으로 중대형 사업체에서 100.0%가 나온 이유는 사례 수가 1개 사업체 뿐이기 때문이다. 중대형 사업체임에도 ‘매출액 = 임가공 수입’이라는 점에서 전자제품 생산전문업체(EMS)일 가능성이 높다.

〈표 Ⅲ-17〉 임가공 사업체의 매출액 대비 임가공 수입액 비율

구분	2011	2016	2019
10~19명	96.6%	96.0%	96.2%

29) 광업제조업조사 원자료, 각년도

구분	2011	2016	2019
20~49명	91.5%	92.9%	95.3%
50~99명	87.3%	89.6%	87.2%
100~199명	77.9%	83.3%	89.5%
200~299명	77.8%	90.1%	80.5%
300~499명	60.0%	99.9%	100.0%
500명이상	15.7%	61.8%	35.3%
전체	91.0%	93.0%	93.7%

* 광업제조업조사, 각년도

(2) 외주가공 현황

○ 외주가공이라 함은 타인에게 원재료 등을 제공하여 당해 원재료 등에 공작을 가하여 새로운 물건을 만들고 그 대가로서 보수를 지급하는 것을 말한다. 2019년 기준으로 전자산업의 외주가공 사업체 수는 2,270개소로 조사 참여 전자 사업체중 66.2%에 해당한다. 제조업 전체의 외주가공 사업체 비율치보다 약간 높은 편이며, 2011년 69.2%보다는 약간 하락하였다. 광업제조업조사 참여 사업체가 감소하면서 전자산업 사업체중 외주가공을 하는 사업체 수도 감소하였다.

〈표 III-18〉 광업·제조업 조사 참여 사업체 및 외주가공 사업체 현황

(단위 : 개소)

구분	2011	2016	2019
제조업(A)	63,047	68,790	69,639
외주가공 업체 수(B)	39,129	45,169	42,189
B/A	62.1%	65.7%	60.6%
전자산업(C)	4,027	3,804	3,428
외주가공업체 수(D)	2,786	2,694	2,270
D/C	69.2%	70.8%	66.2%

가) 외주가공사업체 세부 현황

- 외주가공 사업체의 규모별 현황을 보면 대체로 50인 미만 사업체의 비율이 70%를 넘어서고 있다. 2019년 기준으로 전자산업 외주가공을 맡긴 사업체의 75.8%는 50인 미만이다. 제조업 전체로 보면 83.5%로 더 높다. 앞서 임가공과 결합해 해석하면 대체로 50인 미만 사업체가 외주가공을 주고 받는(임가공) 셈이다.

〈표 III-19〉 외주가공 사업체 현황

구분	2011		2016		2019		제조업 전체 (2019)
	개소	비율(%)	개소	비율(%)	개소	비율(%)	비율(%)
10~19명	1,111	39.9	1,060	39.3	955	42.1	47.9
20~49명	979	35.1	939	34.9	766	33.7	35.6
50~99명	325	11.7	372	13.8	269	11.9	9.9
100~199명	206	7.4	180	6.7	153	6.7	4.2
200~299명	74	2.7	35	1.3	36	1.6	1.2
300~499명	25	0.9	49	1.8	38	1.7	0.7
500명이상	66	2.4	59	2.2	53	2.3	0.6
전체	2,786	100.0	2,694	100.0	2,270	100.0	100.0

* 광업제조업조사 원자료, 각년도.

- 외주가공 비율은 임가공 실태와 동일하게 규모가 커질수록 감소하고 있다. 2019년 규모별 전자산업 외주가공 비율을 보면 500인 이상 대규모 사업장이 외주를 주는 비율치가 2.3%로 전체 제조업 0.6% 대비 4배 가량 높게 나타나고 있다.

나) 외주가공비 비율

- 규모별로 외주가공비 금액 평균을 보면 500인 미만 규모에서는 년도별로 등락을 거듭하지만 500인 이상 되는 중·대형 자본의 경우에는 외주가공비 평균액이 지속적으로 커지고 있다.

〈표 III-20〉 외주가공비 금액 평균 및 생산비 대비 비율 평균

(단위 : 억 원, %)

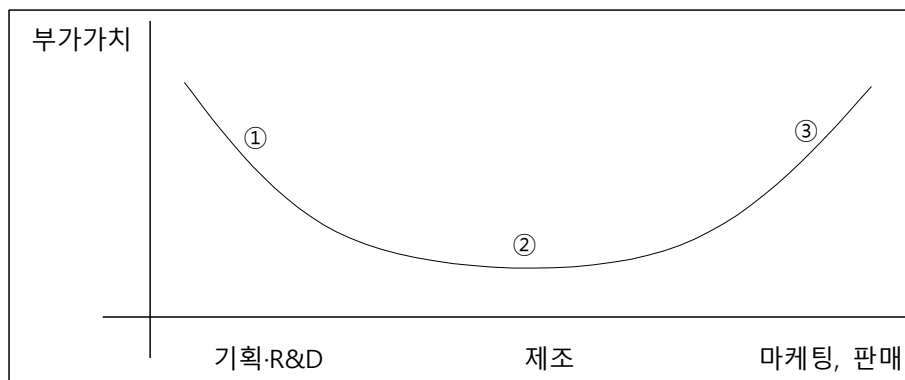
구분	2011		2016		2019		
	금액	비율	금액	비율	금액	비율	제조업 전체 비율
10~19명	12.7	10.1	3.2	10.6	3.2	10.7	9.9
20~49명	8.2	11.1	8.2	11.1	8.8	11.2	10.3
50~99명	23.9	12.6	21.1	12.2	23.9	12.1	11.3
100~199명	58.3	12.5	65.6	12.0	63.0	13.9	10.3
200~299명	82.9	9.5	120.2	12.5	106.2	11.8	10.0
300~499명	424.4	21.8	245.6	12.5	207.6	10.4	9.1
500명이상	777.6	6.8	1,540.7	10.6	2,456.0	10.7	8.1
전체	39.4	10.9	51.2	11.2	73.9	11.2	10.2

* 광업제조업조사 원자료, 각년도.

- 비율치로 보면 200인 미만 규모에서는 10%대 초반 수준을 보이고 있으며, 300~499인은 비율치가 지난 2010년대 기간 동안 하락하였다. 반대로 500인 이상은 2011년 대비 2019년 외주가공비 금액과 비율치가 상승하였다. 특히 외주가공비 금액이 2011년 777억 원 규모에서 2019년 2,456억 원으로 큰 폭으로 증가해 대규모 전자사업체에서 생산을 외주화 하는 경향이 심화되었다. 2019년 제조업 전체와 비교 시 모든 규모에서 전자산업의 외주가공비 비율이 약간 더 높게 나타나고 있다. 그만큼 외주가공이 활발한 산업이라 할 수 있다.

(3) 전자산업 가치사슬의 특징

- 전자산업은 대기업을 정점으로 하는 정교한 가치사슬 구조가 일찍부터 발달해 온 산업으로 글로벌 차원에서 연구·개발을 포함한 생산과정 전반에 걸쳐 가치사슬 구조가 형성·발달해 왔다. 또한 대기업 주도의 가치사슬 생태계 간 경쟁이 치열한 산업이기도 하다.
- 국내 전자대기업의 가치사슬 구조를 해외와 비교해 보면 확연한 차이점이 존재한다. 해외의 가치사슬 선도기업들은 ‘기획 → 연구개발 → 시제품 제작 → 양산·조립 → 판매 → AS·유지보수’ 등으로 이어지는 전체 생산과정 중 노동집약적인 중간공정은 신흥공업국으로 이전 또는 아웃소싱을 하고, 그 대신에 전·후방공정에 집중하여 부가가치를 획득하는 경영전략을 추진해 왔다. 연구개발 등 후방공정 분야에서는 기술혁신을 통해 제품 자체를 고부가가치화 하고, 마케팅 등 전방공정 분야에서는 새로운 플랫폼 제공, 고객 타겟의 확대, 판매 형태의 변화, 브랜드 구축 등을 통해 고부가가치화 하는 전략을 추진해 왔다(주대영, 2015) 그 결과로 단순 아웃소싱을 넘어 제조·생산과정 전반의 가치 사슬을 완벽히 대행하는 EMS(Electronic manufacturing service)와 ODM(Original design manufacturer) 기업들이 등장해 전자제품 제조 영역을 담당해 왔다.



[그림 III-29] 가치사슬 구조와 부가가치와의 관계

- 반면 국내 전자대기업은 해외의 전자대기업과는 다르게 생산·제조 영역 ([그림 III-29]의 ② 영역)에서 정교하면서도 위계적인 하도급 구조를 유지·확대하고 있다는 점에 차이가 있다. 해외의 전자산업 선도기업들은 ‘기획·연구개발 → 제조(양산·조립) → 마케팅과 판매(AS·유지 보수)’로 이어지는 가치사슬 중 제조 공정([그림 III-29]의 ②영역)은 신흥공업국의 전문 EMS 업체로 아웃소싱을 하고, 전방가치사슬 및 후방 가치사슬에 집중하여 부가가치를 창출하는 경영전략을 추진해 왔다. 반면 국내 전자대기업의 가치사슬 구조는 ①에서 ③까지의 모든 영역을 직접 수행하고 있을 뿐만 아니라, 반도체, 디스플레이등 주요 부품 제조 분야는 핵심 계열사를 통해 수행하고 있다는 점에서 차이가 있다.
- 핵심 부품·완제품 제조 대기업의 적극적인 해외 진출 또한 특징적이다. 2000년대 들어서 국내 전자산업을 주도해 왔던 IT부품 제조 분야의 반도체와 디스플레이 산업이 해외로 적극 진출했다. 국내 전자산업의 생산 부문([그림 III-29]의 ②영역) 가치사슬 구조가 해외를 중심으로 구축된 것이다.
- 한국 전자산업 가치사슬의 경쟁력은 시장 변화에 조용하는 생산 영역의 조정이 핵심이다. 전자산업 시장, 특히 반도체 산업 시장이 확대되는 국면에서는 신속한 조정과 규모의 효과를 통해 시장을 선점·확대하는 효과를 낼 수 있다. 지금까지 한국 전자산업이 세계시장을 주도할 수 있었던 핵심 요인도 여기에 있다. 하지만 시장 위축 국면이나 가치사슬 구조 재편을 수반하는 시장 구조 변화 과정에서는 고용조정이라는 취약성을 드러낼 수밖에 없다(이주환·손정순, 2015) 전자산업은 기술변화에 따른 주력 제품의 교체가 단기간 동안에 빈번하게 이루어질 뿐만 아니라 교체 주기 또한 짧아지는 추세를 띤다(주대영, 2015).
- 나아가 기술변화에 따라 영상·게임, AI 등 디지털 소프트웨어를 포함한

정보통신 서비스업 부문과 전자산업이 융합하는 현상이 두드러지고 있다. 한국 전자산업은 주력 상품·서비스 교체기, 나아가 시장 구조변화 시마다 생산 영역에서 수직적인 조정이 수반될 수밖에 없기에 고용과 하청 중소기업에 부정적인 영향을 미칠 개연성이 내재되어 있는 셈이다. 여기에 생산 부문 가치사슬이 해외를 중심으로 구축·확대되어 왔던 경향 또한 고용에 부정적인 영향을 끼쳐 왔다. 이에 대해서는 3절에서 자세히 서술하도록 한다.

3) 전자산업별 직업별 추이 추정

(1) 산업별 고용 추이

- 소분류 산업(표준 산업분류 코드 3자리)별로 전자산업 고용변화 추이를 보면 확연한 차이점이 드러난다. 고용이 증가한 산업은 ‘반도체 제조업’ 뿐이며 나머지 산업은 고용이 감소하거나 정체되어 있다.

〈표 III-21〉 소분류 산업별 고용 추이

(단위 : 천 명)

구분	2013년하		2017년하		2021년하		2022년상	
	인원	비율 (%)	인원	비율 (%)	인원	비율 (%)	인원	비율 (%)
반도체 제조업	106.7	20.0	121.5	24.4	150.9	32.2	156.5	32.6
전자부품 제조업	231.8	43.5	224.2	44.9	209.0	44.6	208.1	43.3
컴퓨터 및 주변장치 제조업	15.3	2.9	15.7	3.1	14.6	3.1	14.0	2.9
통신 및 방송 장비 제조업	134.0	25.2	90.0	18.0	71.2	15.2	76.5	15.9
영상 및 음향기기 제조업	43.2	8.1	46.9	9.4	23.0	4.9	25.0	5.2
마그네틱 및 광학 매체 제조업	1.4	0.3	0.6	0.1	0.3	0.1	0.2	0.0
전체	532.4	100	498.9	100	468.9	100	480.2	100

* 지역별고용조사(B형) 원자료, 각년도

- 전자산업 내에서 상대적으로 노동집약적인 전자부품 제조업은 고용이 감소하였지만 여전히 전자산업에서 고용규모가 가장 큰 소분류 산업이다. 이들 산업은 여성노동자의 고용감소가 큰 산업이기도 하다(〈표 III-21〉 참조).

(2) 직업별 추이

- 직업 대분류 기준으로 고용변화를 살펴보면 전문가및관련종사자, 기능원 직종에서는 고용이 증가하였다. 반면에 생산직종의 핵심인 장치기계조작및조립종사자 직종에서는 61.4천명 감소하였다.

〈표 III-22〉 직업대분류별 고용 추이

(단위 : 천 명)

구분	2013년하		2017년하		2021년하		2022년상	
	인원	비율 (%)	인원	비율 (%)	인원	비율 (%)	인원	비율 (%)
관리자	5.2	1.0	8.2	1.6	7.8	1.7	7.0	1.5
전문가및관련종사자	91.5	17.2	116.6	23.4	122.3	26.1	125.8	26.2
사무종사자	132.8	24.9	128.0	25.7	111.7	23.8	115.9	24.1
서비스종사자	1.2	0.2	2.0	0.4	2.1	0.4	1.3	0.3
판매종사자	4.4	0.8	-	-	5.8	1.2	2.4	0.5
기능원	19.6	3.7	22.0	4.4	24.9	5.3	23.2	4.8
장치기계조작및조립종사자	239.0	44.9	196.4	39.4	169.7	36.2	177.6	37.0
단순노무자	38.6	7.3	25.5	5.1	24.8	5.3	27.0	5.6
전체	532.4	100	498.9	100	468.9	100	480.2	100

* 지역별고용조사(B형) 원자료, 각년도

- 더 세부적으로 표준직업분류 중분류(2자리)를 기준으로 규모가 가장 큰

10개 직종 추이를 보면 ‘전기 및 전자 관련 기계 조작직’ 노동자 비율이 가장 높게 나타나고 있다. 하지만 규모에서는 2013년 하반기 218천명에서 2022년 상반기에는 164.3천명으로 53천 명이 감소하였다.

〈표 III-23〉 중분류 직업별 고용규모 상위 10개 직종

(단위 : 천 명, %)

순위	2013하			2017하			2022상		
	직종	인원	비율	직종	인원	비율	직종	인원	비율
1	전기 및 전자 관련 기계 조작직	218.0	40.9	전기 및 전자 관련 기계 조작직	180.8	36.2	전기 및 전자 관련 기계 조작직	164.3	34.2
2	경영 및 회계 관련 사무직	131.5	24.7	경영 및 회계 관련 사무직	127.4	25.5	경영 및 회계 관련 사무직	114.9	23.9
3	공학 전문가 및 기술직	55.0	10.3	공학 전문가 및 기술직	66.2	13.3	공학 전문가 및 기술직	89.7	18.7
4	제조 관련 단순 노무직	36.4	6.8	정보 통신 전문가 및 기술직	30.4	6.1	정보 통신 전문가 및 기술직	23.9	5.0
5	정보 통신 전문가 및 기술직	24.9	4.7	제조 관련 단순 노무직	21.2	4.2	제조 관련 단순 노무직	21.9	4.6
6	운송 및 기계 관련 기능직	10.6	2.0	경영·금융전 문가 및 관련직	16.9	3.4	운송 및 기계 관련 기능직	17.0	3.5
7	경영·금융전 문가 및 관련직	8.9	1.7	운송 및 기계 관련 기능직	12.6	2.5	경영·금융전 문가 및 관련직	10.6	2.2
8	금속 및 비금속 관련 기계 조작직	6.7	1.3	기계 제조 및 관련 기계 조작직	4.7	0.9	기계 제조 및 관련 기계 조작직	5.8	1.2
9	영업직	4.4	0.8	전기 및 전자 관련 기능직	4.2	0.8	건설·전기 및 생산 관련 관리직	4.0	0.8
10	기계 제조 및 관련 기계 조작직	4.3	0.8	건설·전기 및 생산 관련 관리직	3.8	0.8	청소 및 경비 관련 단순 노무직	3.6	0.8

* 지역별고용조사(B형) 원자료, 각년도

- 경영 및 회계 관련 사무직이 기간 동안 전자산업 내 고용비율 2위를 유지하고 있다. 고용비율은 2013년 대비 2022년 0.8%p 하락했지만, 규모에서는 16.6천여 명 감소하였다. 3위는 공학 전문가 및 기술직으로 2013년 55천명에서 2022년 상반기 89.7천명으로 3만 명 넘게 증가했으며 비율치로는 2013년 대비 8.4%p 증가하였다. 4위는 2013년에는 단순노무직이었지만 2017년 상반기, 2022년 하반기는 정보 통신 전문가 및 기술직이 4번째로 고용규모가 크다. 하지만 2017년 하반기와 비교 시 약 6천여 명 고용이 감소하였다.
- 상위 3개 중분류 직종의 성별, 연령별 고용 변화 양상을 보면 공학 전문가 및 기술직의 경우 남성이 29천 명 증가한 반면에 여성은 5천 명 증가하는데 그쳤다. 경영 및 회계 관련 사무직은 남녀 모두 감소했으며, 전기 및 전자 관련 기계 조작직에서는 남성은 5천 명이 감소한 반면에 여성은 49천 명 감소하였다.

〈표 III-24〉 중분류 상위 3개 직종의 성, 연령별 변화

(단위 : 천 명)

구분		2013하			2022상		
		공학 전문가 및 기술직	경영 및 회계 관련 사무직	전기 및 전자 관련 기계 조작직	공학 전문가 및 기술직	경영 및 회계 관련 사무직	전기 및 전자 관련 기계 조작직
성별	남성	49 (20.2%)	87 (36.0%)	106 (43.8%)	78 (30.8%)	74 (29.2%)	101 (39.9%)
	여성	6 (3.7%)	44 (27.2%)	112 (69.1%)	11 (9.6%)	41 (35.7%)	63 (54.8%)
연령대	10대	0 (0.0%)	0 (0.0%)	7 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (100.0%)
	20대	12 (9.8%)	36 (29.5%)	74 (60.7%)	13 (19.1%)	17 (25.0%)	38 (55.9%)

구분	2013하			2022상		
	공학 전문가 및 기술직	경영 및 회계 관련 사무직	전기 및 전자 관련 기계 조작직	공학 전문가 및 기술직	경영 및 회계 관련 사무직	전기 및 전자 관련 기계 조작직
30대	29 (18.0%)	59 (36.6%)	73 (45.3%)	33 (25.2%)	40 (30.5%)	58 (44.3%)
40대	12 (13.8%)	26 (29.9%)	49 (56.3%)	35 (30.2%)	41 (35.3%)	40 (34.5%)
50대	2 (7.7%)	9 (34.6%)	15 (57.7%)	8 (17.4%)	14 (30.4%)	24 (52.2%)
60대 이상	1 (33.3%)	1 (33.3%)	1 (33.3%)	1 (14.3%)	3 (42.9%)	3 (42.9%)

* 지역별고용조사(B형) 원자료, 각년도

- 연령별 변화를 보면 공학 전문가 및 기술직은 10대를 제외한 모든 연령대에서 2013년 대비 고용이 증가하였다. 반면에 경영 및 회계 관련 사무직은 30대와 20대에서 고용이 감소했으며, 40대에서는 15천 명 증가하였다. 고용규모가 가장 큰 전기 및 전자 관련 기계 조작직은 50대 이하 연령대에서 고용이 감소하였다. 특히 20대가 36천 명으로 고용 감소 규모가 가장 크다. 경영 및 회계 관련 사무직의 고용 감소는 고령화와 장기근속이 맞물리면서 나타난 결과로 판단된다. 전기 및 전자 관련 기계 조작직 감소의 경우에는 고령화 및 장기근속 효과에 인위적인 고용 조정이 더해진 결과라 할 수 있다.

(3) 규모별 고용

- 종사자 규모별³⁰⁾ 고용을 보면 전자산업 노동자의 1/2은 300인 이상의

30) 지역별 고용조사의 종사자 규모 문항은 2021년도 조사부터 시작되었다. 그에 따라 규모별 고용 추이는 2021년 이후 자료만 활용한다. 이하 ‘규모별’ 변수 자료는 모두 2021년 이후 원자료만 분석한 결과이다.

중·대형 사업체에서 근무하고 있다. 2022년 상반기 기준 300인 이상 사업체에서 근무하는 제조업 노동자 비율 21.2%와 비교 시 2배가 넘는다.



[그림 III-30] 종사자 규모별 고용 비율* 지역별 고용조사(B형) 원자료, 각년도.

- 반면에 20.1%는 30인 미만 규모의 사업체에서 근무하고 있다(2022년 상반기 기준). 제조업 노동자의 해당 비율 41.7%와 비교 시 1/2 수준에 불과하다. 제조업과 비교시 전자산업 노동자가 상대적으로 중·대규모 사업체에서 근무하는 노동자 비율이 높다. 전자산업 내에서만 보면 2명중 1명은 300인 이상 사업체에, 5명중 1명은 소규모 영세사업체에서 근무하고 있다.
- 2022년 상반기 기준 규모별-종사상 지위별 고용 현황을 보면 확실히 5인 미만의 소규모 사업장에서 임시직, 일용직 비율이 높게 나타나고 있다.

〈표 III-25〉 규모별-종사상 지위별 고용(2022년 상반기)

(단위 : 천 명)

구분	상용	임시	일용
1~4명	13 (76.5%)	3 (17.6%)	1 (5.9%)
5~9명	21 (91.3%)	1 (4.3%)	1 (4.3%)
10~29명	50 (90.9%)	5 (9.1%)	0 (0.0%)

구분	상용	임시	일용
30~99명	73 (91.3%)	6 (7.5%)	1 (1.3%)
100~299명	60 (92.3%)	4 (6.2%)	1 (1.5%)
300명이상	234 (97.9%)	5 (2.1%)	0 (0.0%)

* 2022 상반기 지역별 고용조사(B형) 원자료.

- 인적특성별로 규모별 고용을 보면 여성, 50대 이상에서 중소기업체에 근무하는 비율이 높다. 직종에서는 전문가 직종에서 중·대형 사업체에서 근무하는 비율이 높은 편이며, 상대적으로 단순노무직은 30인 미만에서 비율이 높은 편이다.

〈표 III-26〉 세부 변수별-규모별 고용(2022년 상반기)

(단위 : 천명)

구분		1~4명	5~9명	10~29명	30~99명	100~299명	300명 이상
성	남자	11 (3.3%)	15 (4.5%)	36 (10.7%)	50 (14.8%)	46 (13.6%)	179 (53.1%)
	여자	7 (4.9%)	7 (4.9%)	20 (14.1%)	29 (20.4%)	19 (13.4%)	60 (42.3%)
연령	10대	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	20대	1 (1.2%)	1 (1.2%)	8 (9.3%)	16 (18.6%)	15 (17.4%)	45 (52.3%)
	30대	3 (1.8%)	6 (3.6%)	14 (8.5%)	27 (16.4%)	22 (13.3%)	93 (56.4%)
	40대	6 (4.0%)	7 (4.7%)	18 (12.0%)	20 (13.3%)	19 (12.7%)	80 (53.3%)
	50대	5 (7.7%)	7 (10.8%)	12 (18.5%)	13 (20.0%)	7 (10.8%)	21 (32.3%)
	60대이상	2 (15.4%)	2 (15.4%)	3 (23.1%)	2 (15.4%)	3 (23.1%)	1 (7.7%)
	평균(세)	46.0	45.5	46.1	44.9	42.6	41.6

구분		1~4명	5~9명	10~29명	30~99명	100~299명	300명 이상
근속	1년미만	6 (7.2%)	4 (4.8%)	14 (16.9%)	18 (21.7%)	16 (19.3%)	25 (30.1%)
	3년미만	2 (2.9%)	3 (4.3%)	13 (18.8%)	18 (26.1%)	13 (18.8%)	20 (29.0%)
	5년미만	2 (3.6%)	5 (8.9%)	9 (16.1%)	11 (19.6%)	9 (16.1%)	20 (35.7%)
	10년미만	4 (4.9%)	6 (7.3%)	9 (11.0%)	17 (20.7%)	11 (13.4%)	35 (42.7%)
	10년이상	4 (2.1%)	4 (2.1%)	11 (5.8%)	14 (7.4%)	17 (8.9%)	140 (73.7%)
	평균(년)	3.6	4.0	5.1	6.8	7.5	10.4
직종	관리자	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (16.7%)	1 (16.7%)	1 (16.7%)	3 (50.0%)
	전문가관련 종사자	3 (2.4%)	4 (3.2%)	8 (6.3%)	14 (11.1%)	12 (9.5%)	85 (67.5%)
	사무직	4 (3.4%)	7 (6.0%)	14 (12.1%)	19 (16.4%)	15 (12.9%)	57 (49.1%)
	서비스직	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (100.0%)
	판매직	1 (50.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (50.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	기능원	0 (0.0%)	0 (0.0%)	3 (13.6%)	3 (13.6%)	1 (4.5%)	15 (68.2%)
	장치기계조 작조립종사 자	6 (3.4%)	9 (5.1%)	24 (13.6%)	34 (19.2%)	31 (17.5%)	73 (41.2%)
	단순노무직	3 (11.1%)	2 (7.4%)	6 (22.2%)	7 (25.9%)	5 (18.5%)	4 (14.8%)

* 2022 상반기 지역별 고용조사(B형) 원자료.

- 중분류 산업 기준으로 규모별 고용을 보면 반도체 제조업에서 300인 이상 비율이 70%를 넘고 있다. 상대적으로 자본집약적인 산업 특성이 반영된 것이다. 반도체 제조업과 영상 및 음향기기 제조업을 제외한 나머지 산업에서는 상대적으로 30인 미만의 소규모 사업체 비율이 높은 편이다.

〈표 III-27〉 규모별-산업별 고용(2022년 상반기)

(단위 : 천명)

산업	1~4명	5~9명	10~29명	30~99명	100~299명	300명 이상	소계
반도체 제조업	3 (1.9%)	3 (1.9%)	9 (5.8%)	12 (7.7%)	14 (9.0%)	115 (73.7%)	150 (100.0%)
전자 부품 제조업	11 (5.3%)	11 (5.3%)	30 (14.4%)	40 (19.2%)	31 (14.9%)	85 (40.9%)	208 (100.0%)
컴퓨터 및 주변 장치 제조업	1 (7.1%)	1 (7.1%)	3 (21.4%)	5 (35.7%)	4 (28.6%)	0 (0.0%)	14 (100.0%)
통신 및 방송장비 제조업	2 (2.6%)	5 (6.6%)	12 (15.8%)	17 (22.4%)	14 (18.4%)	26 (34.2%)	71 (100.0%)
영상 및 음향 기기 제조업	1 (4.0%)	2 (8.0%)	2 (8.0%)	5 (20.0%)	3 (12.0%)	12 (48.0%)	22 (100.0%)
마그네틱 및 광학 매체 제조업	-	-	-	-	-	-	-

* 2022 상반기 지역별 고용조사(B형) 원자료.

(4) 일하는 사업체 소재지

- 2022년 상반기 기준 전자산업 노동자가 일하는 사업체의 소재지, 즉 지역별 전자산업 노동자 규모를 보면 경기도 화성시에서 일하는 노동자 비율이 10.3%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 그 다음으로는 경북 구미시, 경기 안산시, 충남 아산시, 경기 수원시, 용인시 순서였다.

〈표 III-28〉 지역별 전자산업 고용

지역	규모(명)	비율(%)	지역	규모(명)	비율(%)
경기화성시	49,089	10.3	경기성남시	16,147	3.4
경북구미시	42,834	9.0	충남천안시	12,045	2.5
경기안산시	31,365	6.6	경기부천시	10,727	2.2
충남아산시	28,056	5.9	경기시흥시	8,995	1.9
경기수원시	23,406	4.9	인천서구	8,852	1.9
경기용인시	23,106	4.8	경기안양시	7,001	1.5
충북청주시	23,032	4.8	서울금천구	6,331	1.3
경기파주시	22,072	4.6	인천남동구	6,206	1.3
경기평택시	20,679	4.3	광주광산구	5,864	1.2
경기이천시	19,238	4.0	경남창원시	5,167	1.1

* 2022 상반기 지역별 고용조사(A형) 원자료.

** 고용규모 5,000명 이상인 지역만 분류함.

4) 2019 작업환경실태조사 결과에 의한 원하청 사업장 수 추정

- 2019년 작업환경실태조사(제6차 조사)에서는 원청과 하청을 구분하고, 원청의 경우 사내 하청의 사업장 수와 근로자 수를 파악하고 있다. 작업환경실태조사는 한국표준산업분류 코드를 기준으로 하고 있으며, 사업장을 방문하여 원하청 관계를 파악하게 되었다.
- 6차 작업환경 실태조사 결과를 살펴보면 한국표준산업분류 산업 코드별 응답 사업장 수는 26(6,469개소), C 261(반도체 제조업 498개소), C262(전자부품 제조업 3,505개소)였다. 전자산업인 261/262(4,003개소 응답) 중 원청이라고 표시한 업체는 단지 14개소 조사되었으며, 하청이라고 표시한 업체는 16개소로 파악했다.
- 2019년 작업환경실태조사결과(원청 14개소, 하청 16개소)는 국가 통계를 이용한 이 장의 2)항 “전자산업 규모별 사업체 수”결과와 차이가 매우 크다. 즉, 2021년 기준 전체 전자산업 사업체 중 67.4%인 15,027개

소가 종사자 규모 5인 미만, 5~9인 사이의 사업체 수가 3,652개소로 16.4%이다. 10인 미만 사업체가 전체 전자사업체중 83.8%를 차지하고 있는 셈이다. 원청 규모에 해당하는 1,000명 이상 사업체 수는 34개소, 500-999명 규모는 31개소이다.

- 작업환경실태조사에서 하청 사업체는 대부분 파악을 하지 못하고 있다. 작업환경실태조사에서 5인 미만 업체들은 조사대상에 샘플링이 안 되거나, 해당 산업으로 등록이 안 되었을 수 있어(인력파견업과 산업시설 유지보수업 등으로 등록되었을 가능성이 있음) 실태조사를 통한 원하청 관계 파악의 한계점이라고 할 수 있다.

5) 현장 설문조사를 통한 원하청 사업장 비율 추정

○ 2023년 안전보건공단에서 발주한 “전자산업 안전보건 실태조사 및 전략계획 수립 연구”에서 전자산업의 유해·위험요인 실태를 파악하기 위하여 전자산업 사업장을 대상으로 현장 설문조사를 실시하였다. 설문조사 내용 중 작업환경실태조사와는 달리 [그림 III] 과 같이 사업체의 도급(수위탁) 거래 여부를 4가지로 구분하여 질문하는 문항이 포함되어 있음. 도급 거래 여부에 따라 원청에 대해서는 하도급을 주기만 하는 사업장으로, 하청은 하도급을 받기만 하는 사업체로, 복합은 하도급을 주기도 하고 받기도 하는 사업체로, 독립은 하도급을 주지도 않고 받지도 않은 사업장으로 정의하였다.

물리적인자	☐ 소음(명)	☐ 전리 방사선(명)
화학적인자	☐ 화학물질(명)	☐ 분진(명)
인간공학적인자	☐ 근골격계부담작업(명)	

☐ ① 하도급을 주지만 하는 원청사 ☐ ② 하도급을 받기만 하는 하청사
☐ ③ 하도급을 주기도 하고 받기도 함 ☐ ④ 하도급을 주지도 않고 받지도 않음

구분	사업장 수	비율(%)
원청	53	5.2
독립	113	11.1
복합	322	31.8
하청	526	51.9
합계	1,014	100

6) 요약 및 쟁점

- 2021년 기준으로 전국의 전자산업 사업체 수는 약 22,000여개소이다. 10년 전인 2011년 10,100여개소에서 1만 개소 이상 증가하였다. 전자산업 사업체의 83.8%는 10인 미만의 소규모 사업체로 제조업 평균 87.4%보다는 약간 낮은 편이다. 반면에 0.5%는 300인 이상의 중·대형 사업체로 제조업 전체 평균보다는 높은 편이다. 특히 반도체 제조업에 1,000인 이상 되는 대규모 사업체가 17개소나 된다.
- 하청 구조가 발달한 전자산업 내 임가공 현황을 보면 임가공 사업체 수 비율치는 2011년 24.0%에서 2016년 24.9%, 다시 2019년 19.4%로 하락하였다. 제조업 전체에서도 임가공 사업체 수 비율은 2011년 18.7%에서 2019년 16.0%로 하락하였다. 전자산업 임가공 사업체의 규모별 현황을 보면 대부분의 임가공 사업체는 50인 미만의 소규모 사업체이다. 특히 20인 미만 사업체가 40% 넘게 차지하고 있다. 통계자료의 한계로 산업 소분류(3자리 코드) 임가공 사업체 현황을 파악할 수 없지만 대체로 전자부품제조산업(C262)의 소규모 사업체가 다수일 것으로 판단된다. 2010년대 들어서 전자부품제조산업(C262)의 사업체 수가 꾸준히 증가해 왔다는 점과 90%에 가까운 사업체가 10인 미만의 소규모 사업체이기 때문이다. 외주가공 업체는 임가공 사업체 보다 훨씬 더 많은 편이다. 2019년 기준으로 전자산업의 외주가공 사업체 수는 2,270개소로 조사 참여 전자 사업체중 66.2%에 해당한다. 전자산업 하도급 구조의 특징 중 하나는 2010년대 후반에 외주가공비 금액이 증가했지만 임가공 수입액은 거의 변화가 없다는 점이다. 국제 분업구조가 발달한 산업이라는 점에서 해외 전자사업체를 통한 외주 가공이 확대되면서 나타난 결과로 판단된다.
- 소분류 산업별 고용에서는 전자부품 제조업이 208천명으로 가장 많지만 지난 10년간 23.7천 명이 감소하였다. 두 번째는 반도체 제조업으로

156.5천 명 규모이다. 소분류 산업 기준으로 반도체 제조업은 지난 10년간 고용이 증가한 유일한 산업이다.

- 2022년 상반기 기준 종사자 규모별 고용을 보면 전자산업 노동자의 1/2은 300인 이상의 중·대형 사업체에서 근무하고 있다. 반면에 20.1%는 30인 미만 규모의 사업체에서 근무하고 있다. 전자산업 노동자 2명 중 1명은 300인 이상 사업체에 5명 중 1명은 소규모 영세사업체에서 근무하는, 규모별 고용에서 양극화 양상이 나타나고 있다.
- 전자산업 고용의 또 다른 특징은 종사자 규모별 양극화 양상이다. 전자산업 노동자의 1/2은 300인 이상 사업체에서 근무하며 20%는 30인 미만 규모의 사업체에서 근무하고 있다. 전자산업 간접고용 비정규 노동 규모는 지난 8년간 6만 명대를 유지하면서 제조업 중분류 산업 중 2번째로 많다.
- 현장 설문조사를 통하여 도급(수위탁) 거래 여부에 따라 사업체를 원청, 하청, 복합, 독립 등 4가지로 구분하여 조사한 결과 총 조사 사업장은 1,014개소이며, 원청이 가장 적은 53개소(5.2%), 독립 113개소(11.1%), 복합 322개소(31.8%), 하청은 가장 많은 526개소(51.9%)로 파악되었음.
- 전자산업에서 원하청 사업체 수와 고용 근로자 수를 국가자료로 파악하는 것이 필요하다. 특히 하청사업체는 전자산업별 기업체별 공정별 근로자 수 등 구체적인 원하청 안전보건현황을 파악하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 첫째, 공단 작업환경실태조사에서 구조적인 설문지 개정을 통해서 전자산업을 포함한 하청 사업체의 현황을 파악하는 것을 반영할 것을 권고한다. 둘째 매년 공단에서 실시하는 “대중소 기업 안전보건 상생협력사업”(https://www.kosha.or.kr/kosha/business/healthandsafety.do)을 통해 원하청 구조는 물론 안전보건위험을 파악하는 것이다. 올해 고용노동부와 산업안전보건공단은 4.3.(월), ‘대·중소기업 안전보건 상생협력 사업’ 1차 모집에 신청한 기업을 심사한 결과 84개 대기업(모기업),

협력업체 1,501개소를 선정해서 실시한 바 있다. 대기업 324개소, 협력업체 2,917개소가 신청하였고, 참여 협력업체 규모와 수, 주요 활동, 고위험 산업 여부 등을 고려하여 선정하였다(고용노동부, 2023). 기업이 제출한 안전보건정보를 표준으로 분류하고 코딩하면 전자산업은 물론 산업별 공정별 원하청 구조별 안전보건위험을 파악하는 핵심 국가 자료가 된다.

3. 반도체, LCD, OLED 제조 공정 작업환경측정 결과 자료 분석 및 쟁점

1) 사업장 일반 현황

작업환경측정 결과 분석의 대상인 각 사업장의 일반 현황을 요약하면〈표 III-30〉과 같다. 분석 대상 사업장은 5개 사업장으로 반도체 제조사 3개 업체, 디스플레이 제조사 2개 업체이다. B사와 D사는 하청업체 자료가 구분 가능하여 별도로 분석하였다. 원청 근로자수는 구인구직 웹사이트에 공개된 자료를 수집한 것으로 생산직을 포함한 모든 형태의 근로자 규모에 대한 정보이다. 또한 B와 D사의 측정자료에는 하청업체 자료가 포함되어 있지만 근로자수에는 하청업체 근로자수가 반영되어 있지 않기 때문에 원청 근로자수로 표시하였다. 공정 또는 부서의 구분은 반도체 제조 공정으로 널리 알려진 공정 용어를 사용하는 사업장이 3개 업체였고, 부서명이 입력되지 않은 사업장이 2개 업체였다.

〈표 III-30〉 작업환경측정 결과 분석 대상 사업장별 특징

사업장	산업구분	원청 근로자수 (명) ¹⁾	주요 공정/부서
-----	------	---------------------------------	----------

사업장	산업구분	원청 근로자수 (명) ¹⁾	주요 공정/부서
A	반도체 제조	123,668	제조팀, PKG팀
B	반도체 제조	32,217	PHOTO, ETCHING, THINFILM, DIFFUSION, CMP, DVD, PVD, IMPLANT, CLEAN 등
C	디스플레이 제조	21,429	부서명 미입력
D	디스플레이 제조	28,366	PHOTO, WET ETCH, DRY ETCH, EVP(증착), CCSS 등
E	반도체 제조	1,940	PHOTO, ETCH, THINFILM, IMPLANT, CMP, FURNACE, SUB MODULE, MI 등

1) 2023년 10월 기준 saramin.co.kr 기업개요 자료

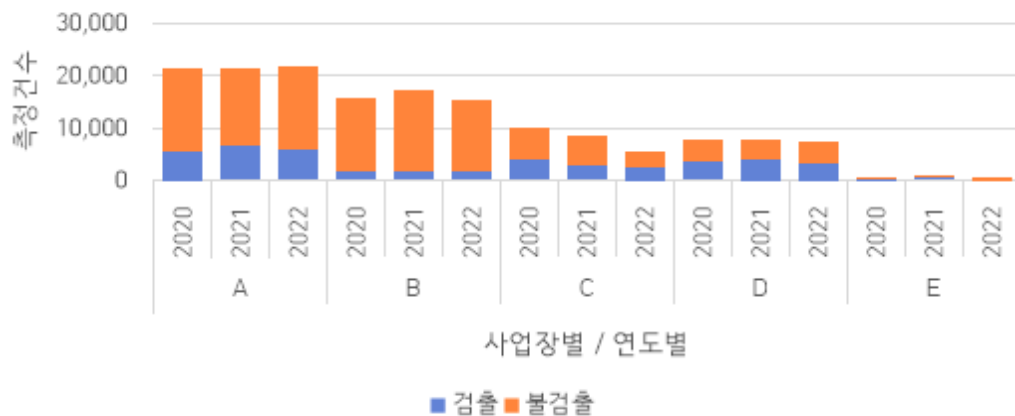
2) 사업장별 연도별 측정건수 현황

사업장별 연도별 화학적 유해인자에 대한 측정건수 현황은 <표 III-31> 및 [그림 III-32]과 같다. 전자산업 사업장 5곳의 3년간 측정결과 총 161개 유해인자에 대해 158,318건을 측정하였다. 측정건수는 2022년을 제외하고 A, B, C, D, E 순으로 많았다. 전체적으로 3년 동안 사업장별 측정건수 및 검출건수는 큰 변화가 없었다. 사업장 C는 지속적으로 측정건수가 감소하였다.

〈표 III-31〉 사업장별 연도별 측정건수

사업장 / 연도	검출	불검출	총합계
A	17,256	46,279	63,535
2020	5,331	15,756	21,087
2021	6,334	14,688	21,022
2022	5,591	15,835	21,426
B	4,550	42,939	47,489
2020	1,514	13,895	15,409

사업장 / 년도	검출	불검출	총합계
2021	1,515	15,431	16,946
2022	1,521	13,613	15,134
C	8,911	14,566	23,477
2020	3,660	6,057	9,717
2021	2,866	5,500	8,366
2022	2,385	3,009	5,394
D	10,748	11,529	22,277
2020	3,769	3,924	7,693
2021	3,823	3,641	7,464
2022	3,156	3,964	7,120
E	,459	1,081	1,540
2020	121	309	430
2021	201	377	578
2022	137	395	532
총합계	41,924	116,394	158,318

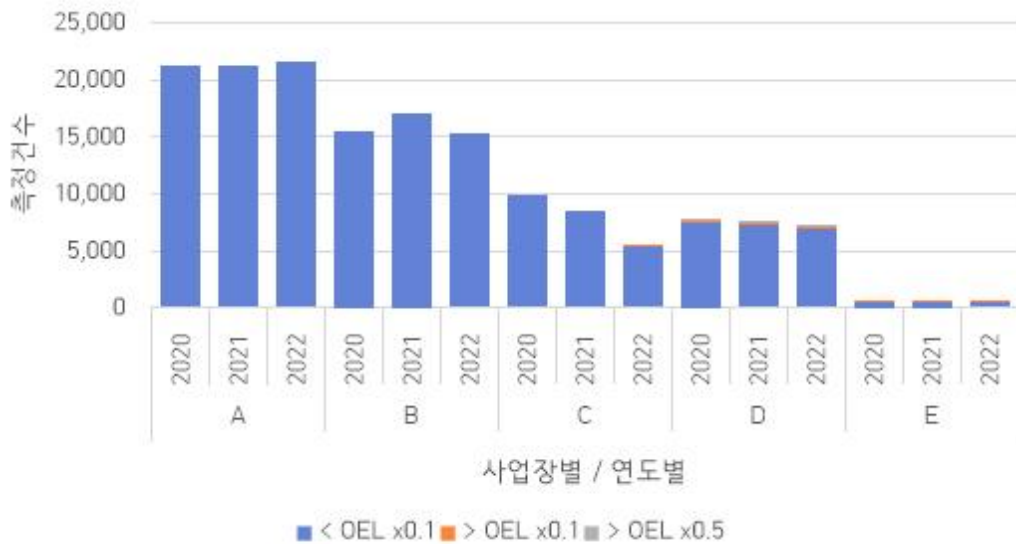


[그림 Ⅲ-32] 사업장별 연도별 측정건수

측정건수 중 노출기준(OEL) 대비 노출농도(C)를 비교하여 노출수준(C/OEL)을 노출기준의 10%, 50%, 100%의 세 가지 기준으로 구분하였을 때 분포는 <표 III-32> 및 [그림 III-33]과 같다. 3년간 모든 사업장에서 노출기준의 10% 이상 노출농도가 보고되었지만, 50% 이상의 노출농도가 보고된 사업장은 D뿐이었고 68건이었다. 노출기준을 초과하는 화학적 유해인자가 보고된 사업장은 없었다. [그림 III-34]과 비교해보면 검출된 항목도 대부분 노출기준의 10% 이하인 것을 알 수 있다.

<표 III-32> 사업장별 연도별 노출수준

사업장 / 연도	< OEL x0.1	> OEL x0.1	> OEL x0.5	총합계
A	63,532	3	0	63,535
2020	21,087	0	0	21,087
2021	21,022	0	0	21,022
2022	21,423	3	0	21,426
B	47,486	3	0	47,489
2020	15,409	0	0	15,409
2021	16,943	3	0	16,946
2022	15,134	0	0	15,134
C	23,427	50	0	23,477
2020	9,717	0	0	9,717
2021	8,366	0	0	8,366
2022	5,344	50	0	5,394
D	21,250	959	68	22,277
2020	7,366	314	13	7,693
2021	7,117	317	30	7,464
2022	6,767	328	25	7,120
E	1,517	23	0	1,540
2020	420	10	0	430
2021	572	6	0	578
2022	525	7	0	532
총합계	157,212	1,038	68	158,318



[그림 III-33] 사업장별 연도별 노출수준

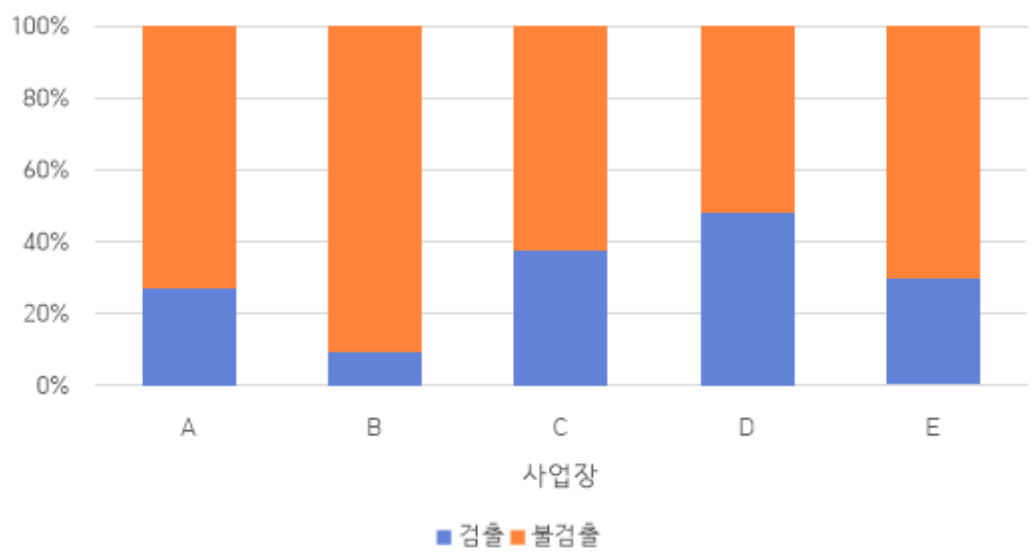
3) 사업장별 검출/불검출 비율

사업장별 연도별 측정건수 현황은 <표 III-33> 및 [그림 III-34]과 같다. 3년간 측정건수를 모두 통합하였을 때 전체 사업장의 평균 검출률은 26.5%였다. 사업장별로는 사업장 D가 48.25%로 가장 높았고 사업장 B가 9.58%로 가장 낮았다. 연도별로 보았을 때 검출률이 50%를 초과한 사업장은 D(51.1%)였다.

<표 III-33> 사업장별 검출/불검출 건수

사업장		검출 (백분율)	불검출 (백분율)	총합계
반도체	A	17,256 (27.2%)	46,279 (72.8%)	63,535
	B	4,550 (9.6%)	42,939 (90.4%)	47,489

사업장		검출 (백분율)	불검출 (백분율)	총합계
디스플레이	C	8,911 (38.0%)	14,566 (62.0%)	23,477
	D	10,748 (48.2%)	11,529 (51.8%)	22,277
비메모리	E	459 (29.8%)	1,081 (70.2%)	1,540
총합계		41,924	116,394	158,318

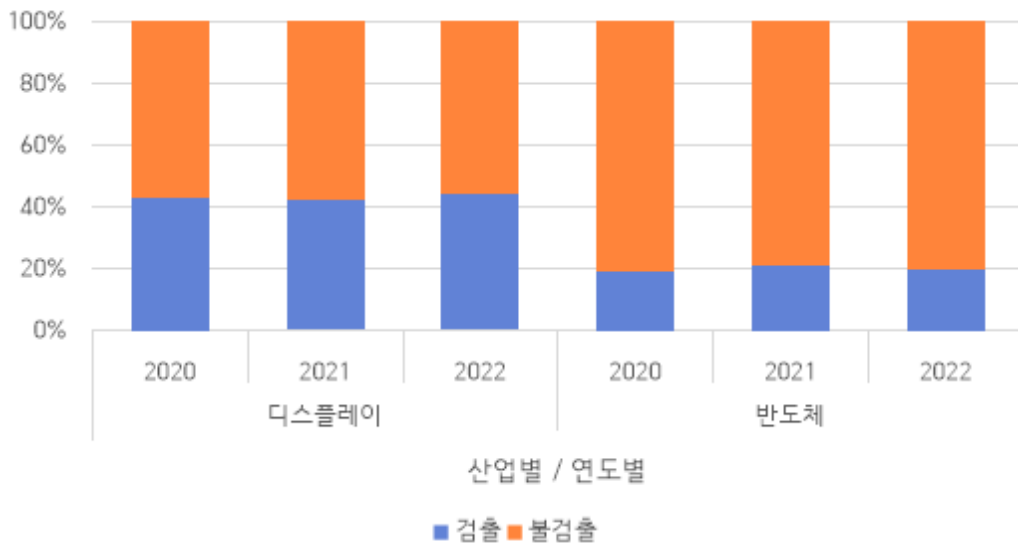


[그림 Ⅲ-34] 사업장별 검출/불검출 비율

사업장을 반도체와 디스플레이 산업별로 구분하여 검출률을 비교하면 <표 Ⅲ-34> 및 [그림 Ⅲ-35]와 같다. 산업별 검출률의 3년 평균은 디스플레이 제조 산업의 검출률이 43.0%로 19.8%인 반도체 산업에 비해 높았다.

〈표 III-34〉 산업별 연도별 검출률

업종별 / 연도별		검출	불검출	총합계
디스플레이	2020	7,429	9,981	17,410
	2021	6,689	9,141	15,830
	2022	5,541	6,973	12,514
	합계	19,659 (43.0%)	26,095 (57.0%)	45,754
반도체	2020	6,966	29,960	36,926
	2021	8,050	30,496	38,546
	2022	7,249	29,843	37,092
	합계	22,265 (19.8%)	90,299 (80.2%)	112,564
총합계		41,924	116,394	158,318



[그림 III-35] 산업별 연도별 검출/불검출 비율

4) 5개 사업장의 유해인자별 총 측정건수(2020-2022)

전자산업 사업장 5곳의 3년간 측정결과 총 161개 유해인자에 대해 158,318건을 측정하였다. 아래 <표 III-35>는 3년간 유해인자별 검출여부를 검출률 순으로 정렬한 것이다. 일반적으로 용접흙, 카본블랙, 산화규소 등 입자상 물질의 검출률이 높았던 반면 유기용제나 가스상 물질의 검출률은 낮았다.

<표 III-35> 2020-2022년 유해인자별 검출률

유해인자	검출	불검출	검출률	총합계
용접흙	489	0	1.000	489
카본블랙	221	0	1.000	221
활석(석면불포함)	219	0	1.000	219
산화규소-비결정체-실리카겔	179	0	1.000	179
산화규소-비결정체-규조토	44	0	1.000	44
흑연(합성 호흡성)	35	0	1.000	35
흑연(합성)	14	0	1.000	14
곡분분진(흡입성)	11	0	1.000	11
규산염(활석)	8	0	1.000	8
기타분진 (유리규산1% 이하)	900	1	0.999	901
기타광물성분진	2,255	8	0.996	2,263
유리섬유	881	15	0.983	896
산화규소-비결정체-용융된 것	61	7	0.897	68
흑연(천연 및 합성 Graphite 섬유제외)	166	20	0.892	186
산화철분진과흙	444	87	0.836	531
탄산칼슘	22	8	0.733	30
알루미늄및그화합물(가용성염)	217	88	0.711	305
수산화나트륨	1,807	813	0.690	2,620
알루미늄및그화합물(흙)	93	51	0.646	144

유해인자	검출	불검출	검출률	총합계
수산화 칼륨	2,004	1,226	0.620	3,230
금속가공유	26	18	0.591	44
산화마그네슘	255	194	0.568	449
산화알루미늄	257	201	0.561	458
산화아연(흙)	385	310	0.554	695
크롬과그무기화합물 (금속과크롬3가화합물)	236	214	0.524	450
오존	4,843	4,631	0.511	9,474
규산염(운모)	4	4	0.500	8
알루미늄및그화합물(금속분진)	528	543	0.493	1,071
암모니아	4,030	4,216	0.489	8,246
알루미늄및그화합물(알킬)	701	799	0.467	1,500
포름알데히드	234	289	0.447	523
산화아연(분진)	49	72	0.405	121
혼합유기화합물(EM)	3,066	4,531	0.404	7,597
바륨및그가용성화합물	49	76	0.392	125
니켈(금속)	409	635	0.392	1,044
염소	1,964	3,111	0.387	5,075
이산화티타늄	350	562	0.384	912
삼수산화비소	478	800	0.374	1,278
염화수소	1,369	2,461	0.357	3,830
니켈(불용성무기화합물)	92	184	0.333	276
구리(분진 및 미스트)	388	825	0.320	1,213
석영	26	57	0.313	83
황화수소	15	33	0.313	48
구리(흙)	507	1,141	0.308	1,648
셀레늄및그화합물	51	116	0.305	167

유해인자	검출	불검출	검출률	총합계
니켈(가용성무기화합물)	91	208	0.304	299
황산(pH2.0이하)	1,664	3,811	0.304	5,475
개미산	105	248	0.297	353
망간및그무기화합물	150	381	0.282	531
아황산가스	30	77	0.280	107
과산화수소	1,558	4,129	0.274	5,687
인디움 및 그화합물	233	653	0.263	886
이소프로필 알콜	2,799	7,995	0.259	10,794
포스핀(인화수소)	822	2,803	0.227	3,625
텅스텐(금속과불용성화합물)	174	607	0.223	781
질산	783	2,793	0.219	3,576
주석(금속)	412	1,540	0.211	1,952
메틸에틸케톤	48	190	0.202	238
주석(산화및무기화합물)	49	195	0.201	244
에탄올아민	492	2,036	0.195	2,528
메틸이소부틸케톤	11	55	0.167	66
일산화질소	273	1,552	0.150	1,825
백금(금속)	48	275	0.149	323
비소 및 그 무기화합물	37	231	0.138	268
이산화질소	12	88	0.120	100
아세톤	510	3,786	0.119	4,296
2-부톡시에탄올	113	885	0.113	998
톨루엔	27	215	0.112	242
은(금속)	211	1,847	0.103	2,058
텅스텐(가용성화합물)	212	1,996	0.096	2,208
아세토니트릴	17	163	0.094	180
안티몬과그화합물	17	180	0.086	197

유해인자	검출	불검출	검출률	총합계
납및그무기화합물	2	30	0.063	32
지르코니움과그화합물	58	876	0.062	934
은(가용성화합물)	42	703	0.056	745
디클로로메탄	6	110	0.052	116
테트라하이드로퓨란	15	349	0.041	364
초산부틸	102	2,493	0.039	2,595
크롬과그무기화합물 (불용성 6가크롬 화합물)	6	154	0.038	160
헥산(n-헥산)	7	201	0.034	208
초산	96	3,029	0.031	3,125
헵탄(n-헵탄)	1	32	0.030	33
트리클로로메탄	2	80	0.024	82
코발트및그무기화합물	18	824	0.021	842
스티렌	1	46	0.021	47
인산	67	3,261	0.020	3,328
1,1-디클로로-1-플루오로에탄	1	53	0.019	54
산화에틸렌	1	59	0.017	60
에틸벤젠	2	131	0.015	133
불소	21	1,536	0.013	1,557
메틸알코올	9	712	0.012	721
크실렌(오쏘,메타,파라 이성체)	2	166	0.012	168
불화수소(불산)	115	11,195	0.010	11,310
요오드	2	230	0.009	232
초산에틸	2	240	0.008	242
1,2-디클로로에틸렌	9	1,159	0.008	1,168
일산화탄소	44	6,113	0.007	6,157
시클로헥사논	9	2,072	0.004	2,081

유해인자	검출	불검출	검출률	총합계
에틸렌글리콜	3	3,672	0.001	3,675
브롬화수소	1	3,129	0.000	3,130
메틸 노말-아밀케톤	0	1,537	0.000	1,537
피리딘	0	1,413	0.000	1,413
N,N-디메틸아세트아미드	0	714	0.000	714
크레졸(모든이성체)	0	601	0.000	601
1,4-디옥산	0	287	0.000	287
2-에톡시에탄올(에틸 셀로솔브)	0	155	0.000	155
노말-부틸알콜	0	152	0.000	152
2-부톡시에탄올아세테이트(에틸렌글리콜모노부틸에테르아세테이트)	0	138	0.000	138
규산(석영)	0	127	0.000	127
트리에틸아민	0	125	0.000	125
에틸렌글리콜모노부틸아세테이트	0	103	0.000	103
디에탄올아민	0	96	0.000	96
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	0	91	0.000	91
톨루엔-2,6-디이소시아네이트	0	89	0.000	89
퍼클로로에틸렌	0	62	0.000	62
2-에톡시에틸아세테이트	0	62	0.000	62
디메틸아민	0	56	0.000	56
이황화탄소	0	46	0.000	46
아크릴산	0	40	0.000	40
2-메톡시에탄올	0	35	0.000	35
트리클로로에틸렌	0	34	0.000	34
페놀	0	32	0.000	32
오쏘-메틸시클로헥사논	0	28	0.000	28
베릴륨 및 함유제제	0	26	0.000	26

유해인자	검출	불검출	검출률	총합계
초산프로필	0	25	0.000	25
디에틸렌트리아민	0	24	0.000	24
프탈릭언하이드라이드	0	23	0.000	23
알릴글리시딜에테르	0	22	0.000	22
시클로hex산	0	22	0.000	22
메틸아민	0	20	0.000	20
벤젠	0	19	0.000	19
2-메톡시에틸아세테이트	0	18	0.000	18
메틸렌 비스페닐 이소시아네이트	0	18	0.000	18
아크릴로니트릴	0	18	0.000	18
삼산화안티몬(취급, 사용)	0	17	0.000	17
하이드라진	0	16	0.000	16
1,3-부타디엔	0	14	0.000	14
메틸n-부틸케톤	0	12	0.000	12
시클로hex사놀	0	12	0.000	12
2-디에틸아미노에탄올	0	12	0.000	12
비닐 아세테이트	0	12	0.000	12
에틸아크릴레이트	0	12	0.000	12
디에틸에테르(에틸에테르)	0	9	0.000	9
크롬과그무기화합물 (수용성 6가크롬 화합물)	0	9	0.000	9
주석(유기화합물)	0	8	0.000	8
디메틸포름아미드	0	7	0.000	7
무수 초산	0	6	0.000	6
에피클로로하이드린	0	6	0.000	6
이염화에틸렌	0	6	0.000	6
아크릴아미드	0	6	0.000	6

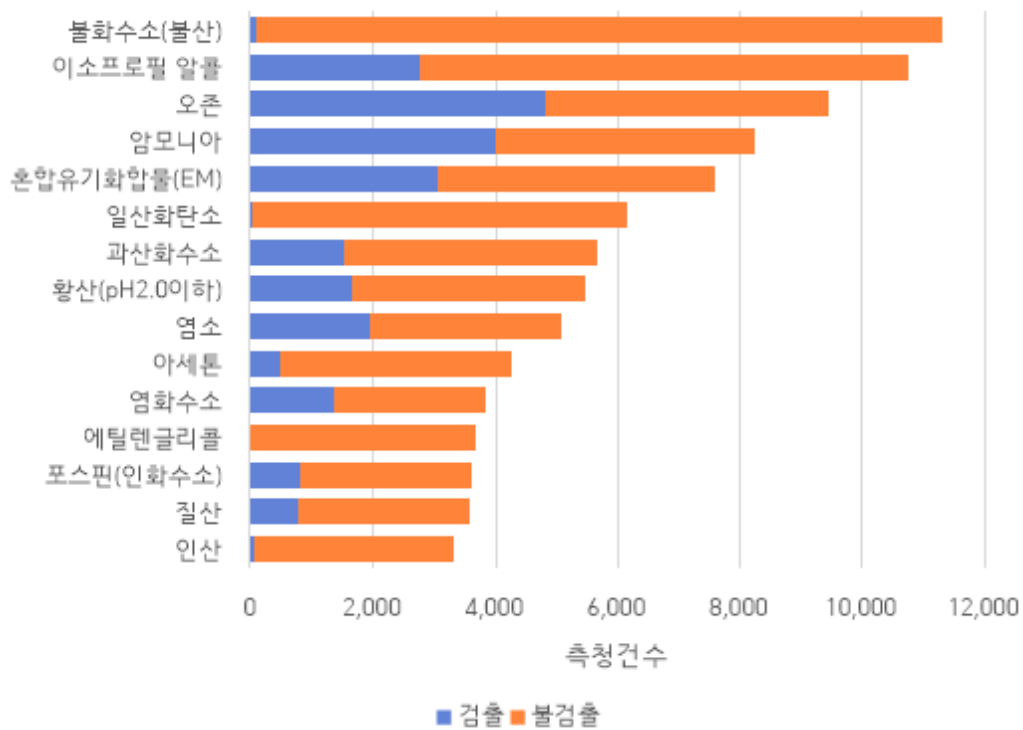
유해인자	검출	불검출	검출률	총합계
염화비닐 및 함유물질	0	4	0.000	4
수은(원소및무기형태)	0	4	0.000	4
산화아연(분진, 흙 제외)	0	4	0.000	4
이소부틸알콜	0	4	0.000	4
헥사메틸렌 디이소시아네이트	0	3	0.000	3
초산메틸	0	2	0.000	2
시아나화칼륨	0	2	0.000	2
이차-부틸알콜	0	2	0.000	2
디이소부틸케톤	0	2	0.000	2
사염화탄소	0	2	0.000	2
카드뮴및그화합물(호흡성)	0	2	0.000	2

측정건수가 많은 순으로 정렬하면 <표 III-36> 및 [그림 III-36]과 같다. 불화수소는 측정건수가 많은 반면 검출률은 1.0% 수준이다. 유사하게 검출률이 낮은 항목으로는 일산화탄소, 에틸렌글리콜, 인산, 브롬화수소, 초산 등이 있다.

<표 III-36> 측정건수가 많은 상위 15개 항목

유해인자	검출	불검출	총합계
불화수소(불산)	115	11,195	11,310
이소프로필 알콜	2,799	7,995	10,794
오존	4,843	4,631	9,474
암모니아	4,030	4,216	8,246
혼합유기화합물(EM)	3,066	4,531	7,597
일산화탄소	44	6,113	6,157
과산화수소	1,558	4,129	5,687
황산(pH2.00이하)	1,664	3,811	5,475
염소	1,964	3,111	5,075

유해인자	검출	불검출	총합계
아세톤	510	3,786	4,296
염화수소	1,369	2,461	3,830
에틸렌글리콜	3	3,672	3,675
포스핀(인화수소)	822	2,803	3,625
질산	783	2,793	3,576
인산	67	3,261	3,328
총합계	23,637	68,508	92,145

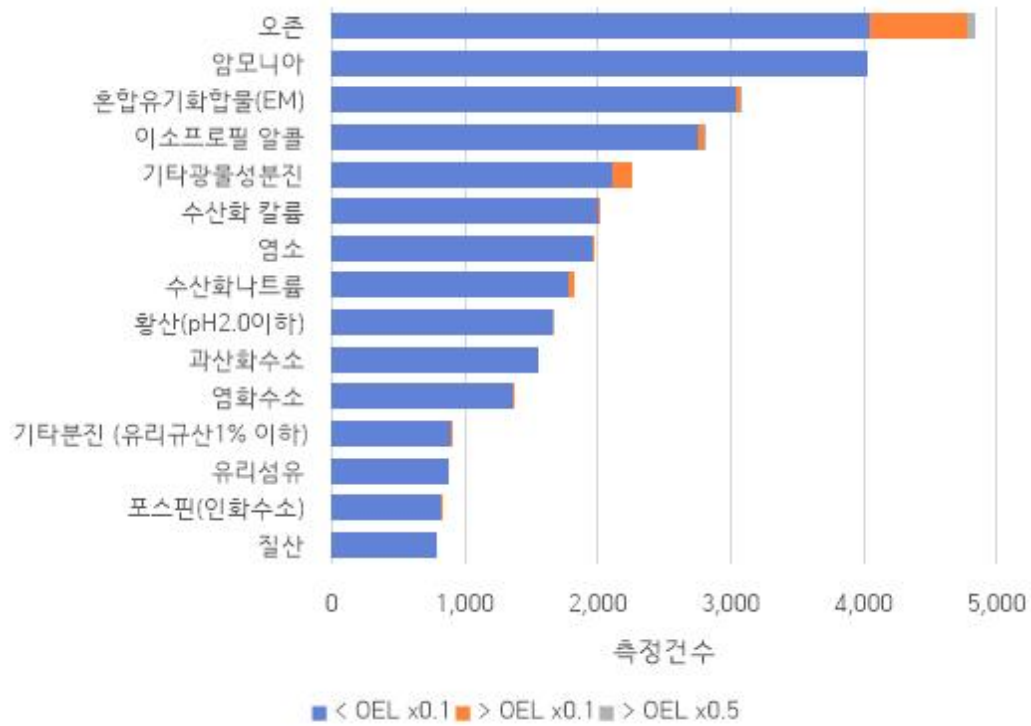


[그림 III-36] 측정건수가 많은 유해인자 상위 15개

검출된 항목들을 노출기준과 비교하여 노출수준별로 표시하면 <표 III-37> 및 [그림 III-37]과 같다. 불산은 측정건수는 많았지만 검출률이 극히 낮아서 이 목록에 포함되지 않았다. 오존이 가장 많이 검출되었고, 노출기준의 10% 및 50%를 초과하는 항목이 많았다. 암모니아는 검출건수는 높았지만 노출기준의 10%를 초과하는 항목은 없었다. 노출기준의 50%를 초과한 유해물질은 오존, 이소프로필 알콜, 황산이 있었다.

<표 III-37> 상위 15개 측정항목별 노출수준별 측정건수

유해인자	노출기준			총합계
	< x0.1	> x0.1	> x0.5	
오존	4,050	735	58	4,843
암모니아	4,030	0	0	4,030
혼합유기화합물(EM)	3,036	29	1	3,066
이소프로필 알콜	2,751	45	3	2,799
기타광물성분진	2,111	144	0	2,255
수산화 칼륨	2,003	1	0	2,004
염소	1,961	3	0	1,964
수산화나트륨	1,772	35	0	1,807
황산(pH2.00이하)	1,661	2	1	1,664
과산화수소	1,558	0	0	1,558
염화수소	1,366	3	0	1,369
기타분진 (유리규산1% 이하)	899	1	0	900
유리섬유	881	0	0	881
포스핀(인화수소)	821	1	0	822
질산	783	0	0	783



[그림 III-37] 상위 15개 측정항목별 노출수준별 측정건수

[그림 III-37]에서 사업장 D가 노출수준이 가장 높았기 때문에 이를 항목별로 살펴보면 [그림 III-38]과 같다. 노출수준이 가장 높은 항목은 오존이었고, 노출 수준 50% 이상인 항목은 이소프로필 알콜, 오존, 불산, 황산이 있었다.



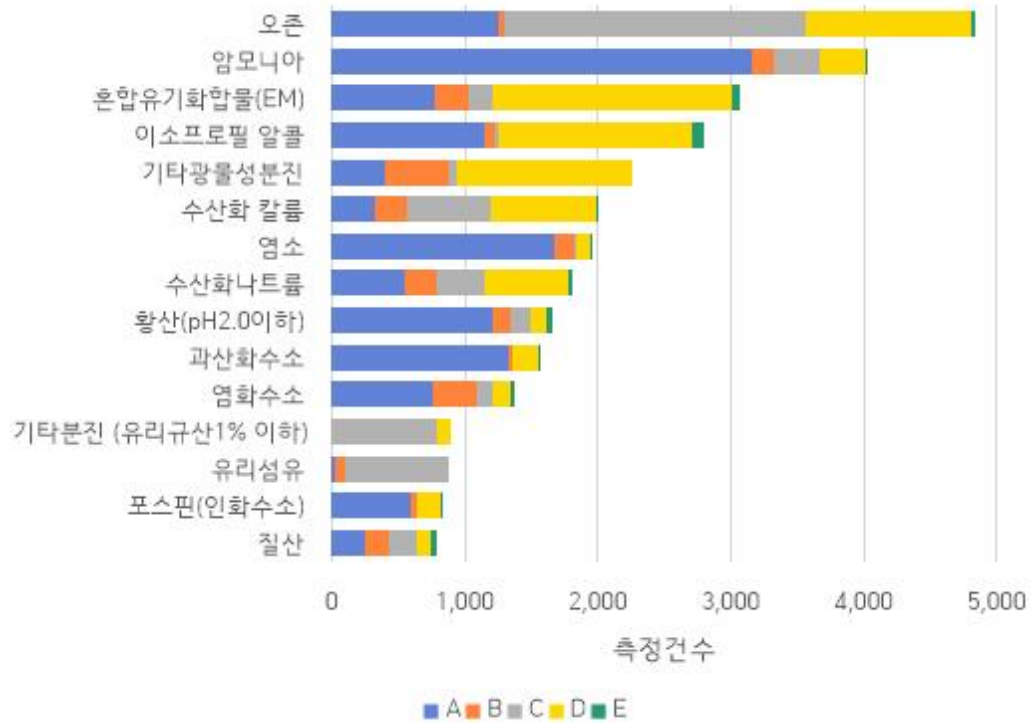
[그림 III-38] 사업장 D의 상위 15개 측정항목별 노출수준별 측정건수

불검출 항목을 제외한 검출된 유해인자 항목을 사업장별로 정리하면 <표 III-38> 및 [그림 III-39]과 같다. 5개 사업장에서 공통적으로 사용되는 항목은 산화철분진과 흙, 알루미늄 및 그화합물(금속분진), 질산, 염화수소, 황산, 수산화나트륨, 염소, 수산화칼륨, 이소프로필 알콜, 암모니아, 오존 등이 있었다. 알루미늄이 포함된 화합물 중 산화알루미늄, 알루미늄 및 그화합물(금속분진), 알루미늄 및 그화합물(알킬)이 목록에 있는데, 유해인자 간 오분류가 생길 수 있는지 검토하는 것은 자료의 한계상 불가능했다. 알킬알루미늄은

CVD 전구체로서 박막의 증착 등에 사용된다.

〈표 III-38〉 사업장별 검출 유해인자 측정건수

유해인자	사업장				
	반도체		디스플레이		비메모리
	A	B	C	D	E
오존	1,254	45	2,261	1,255	28
암모니아	3,164	163	341	351	11
혼합유기화합물(EM)	768	263	185	1,793	57
이소프로필 알콜	1,146	79	35	1,456	83
기타광물성분진	394	483	67	1,311	0
수산화 칼륨	321	245	627	799	12
염소	1,668	160	10	113	13
수산화나트륨	545	242	361	636	23
황산(pH2.0이하)	1,202	147	149	122	44
과산화수소	1,322	35	0	194	7
염화수소	753	339	118	137	22
기타분진 (유리규산1% 이하)	0	0	795	105	0
유리섬유	19	83	779	0	0
포스핀(인화수소)	597	42	0	182	1
질산	248	183	203	115	34

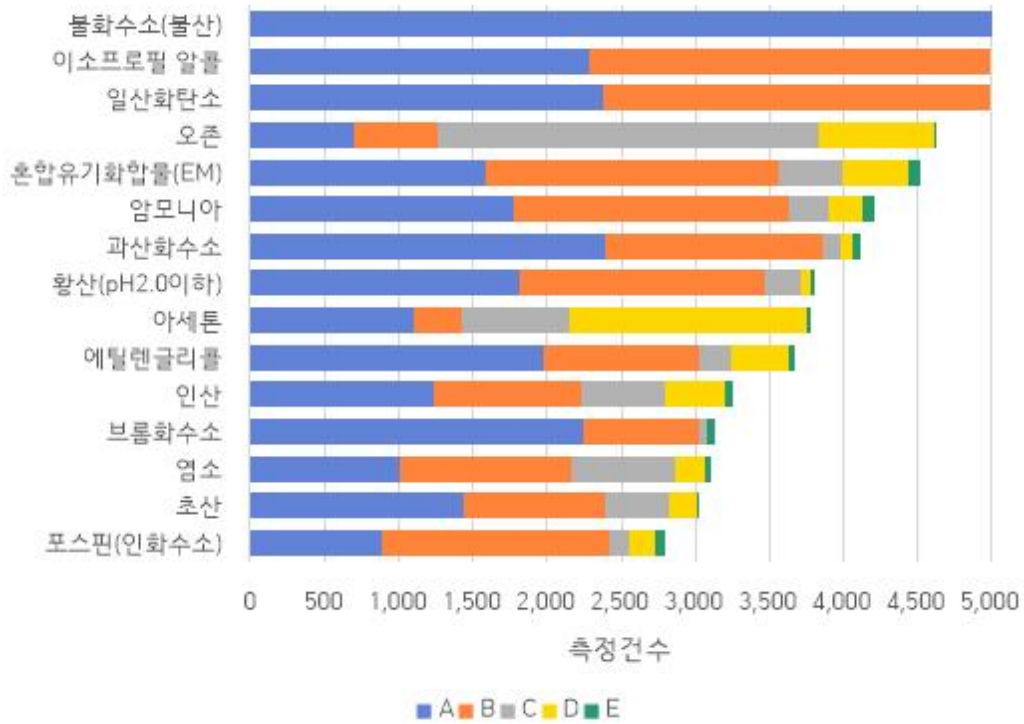


[그림 III-39] 검출된 유해인자의 사업장별 추정건수

불검출된 유해인자를 사업장별 측정건수로 정리하면 <표 III-39> 및 [그림 III-40]와 같다. 측정된 건수가 많을수록 불검출 측정건수가 많기 때문에 [그림 III-40]와 유사하였다. 일산화탄소와 텅스텐(가용성화합물)은 사업장 A와 B에서만 불검출되었고 나머지 항목들은 거의 모든 사업장에서 공통적으로 발견되었다.

〈표 III-39〉 사업장별 불검출 유해인자 측정건수

유해인자	사업장				
	반도체		디스플레이		비메모리
	A	B	C	D	E
불화수소(불산)	6,106	3,856	561	456	216
이소프로필 알콜	2,293	2,755	386	2,490	71
일산화탄소	2,391	3,722	0	0	0
오존	704	572	2,570	778	7
혼합유기화합물(EM)	1,594	1,979	429	455	74
암모니아	1,783	1,860	266	229	78
과산화수소	2,400	1,472	124	84	49
황산(pH2.0이하)	1,821	1,663	234	71	22
아세톤	1,109	318	728	1,613	18
에틸렌글리콜	1,987	1,043	217	393	32
인산	1,246	999	560	412	44
브롬화수소	2,252	778	56	0	43
염소	1,019	1,160	692	207	33
초산	1,452	953	428	186	10
포스핀(인화수소)	895	1,540	127	184	57

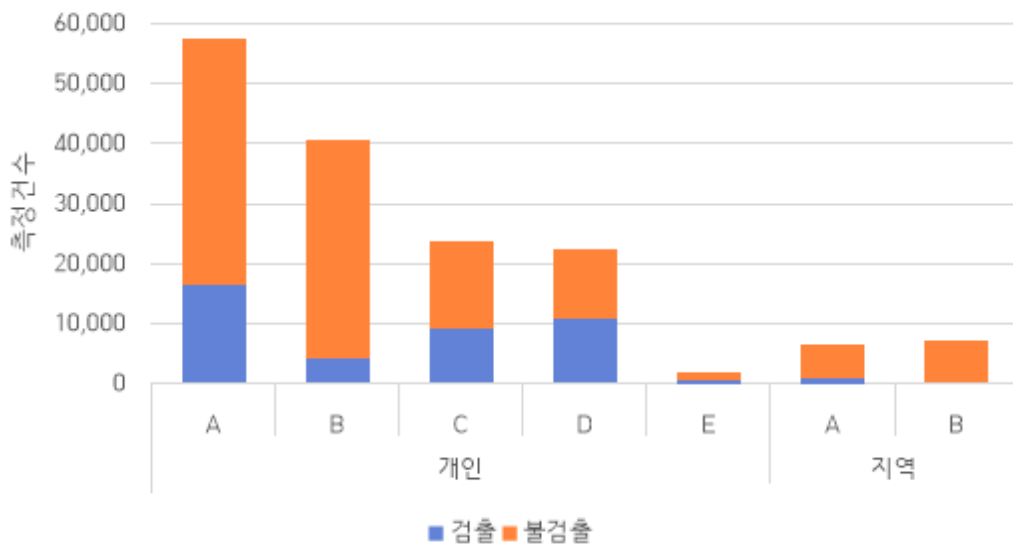


[그림 III-40] 불검출 유해인자의 사업장별 측정건수

유해인자의 측정위치를 개인 시료와 지역 시료로 분류하여 정리하면 <표 Ⅲ-40> 및 [그림 Ⅲ-41]와 같다. 지역시료는 A와 B에서만 측정되었고 지역시료는 불검출된 항목의 비율이 상당히 높았다.

〈표 Ⅲ-40〉 시료종류별 사업장별 검출 및 불검출 측정건수

시료 종류	사업장		검출	불검출	총합계
개인	반도체	A	16,209	40,954	57,163
		B	4,240	36,240	40,480
	디스플레이	C	8,911	14,566	23,477
		D	10,748	11,529	22,277
	비메모리	E	459	1,081	1,540
	합계		40,567	104,370	144,937
지역	반도체	A	1,047	5,325	6,372
		B	310	6,699	7,009
	합계		1,357	12,024	13,381
총합계			41,924	116,394	158,318

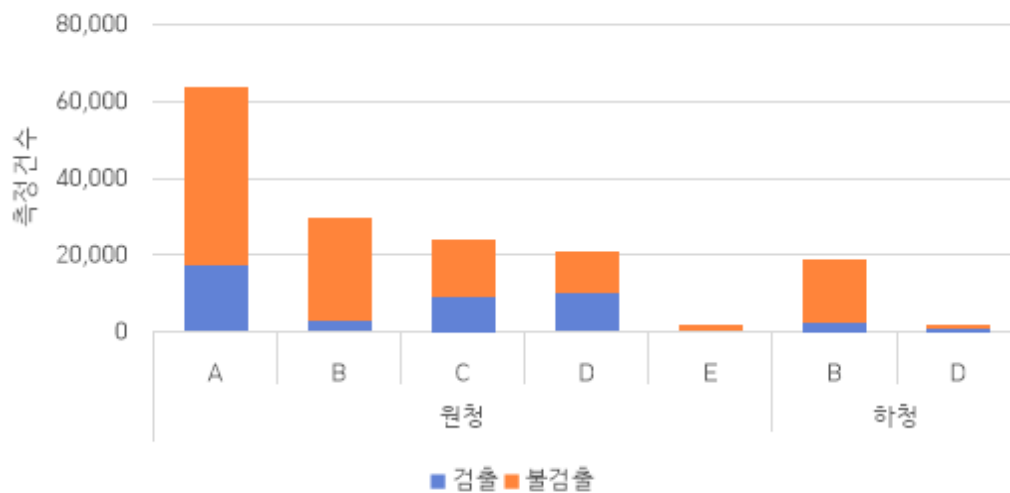


[그림 Ⅲ-41] 측정위치별 사업장별 측정건수

측정자료를 원청과 하청으로 구분하면 〈표 Ⅲ-41〉 및 [그림 Ⅲ-42]과 같다. 원청과 하청을 구분 가능하도록 보고한 자료는 사업장 B와 D에만 존재하였다. 각 사업장에서 하청사업장에서 측정된 자료의 비율은 B가 38.7%, D가 6.5%였다.

〈표 Ⅲ-41〉 원청 및 하청별 검출 및 불검출 측정건수

사업장 분류		검출	불검출	총합계
원청	A	17,256	46,279	63,535
	B	2,358	26,775	29,133
	C	8,911	14,566	23,477
	D	10,085	10,747	20,832
	E	459	1,081	1,540
	합계	39,069	99,448	138,517
하청	B	2,192	16,164	18,356
	D	663	782	1,445
	합계	2,855	16,946	19,801
총합계		41,924	116,394	158,318



[그림 Ⅲ-42] 사업장별 원청 및 하청의 검출여부별 측정건수

사업장별로 원청 및 하청의 검출률 비율은 사업장 B에서 각각 8.1% 및 11.9%였고, 사업장 D에서 각각 48.4% 및 45.9%으로 원청과 하청의 검출률 비율이 유사하였다.



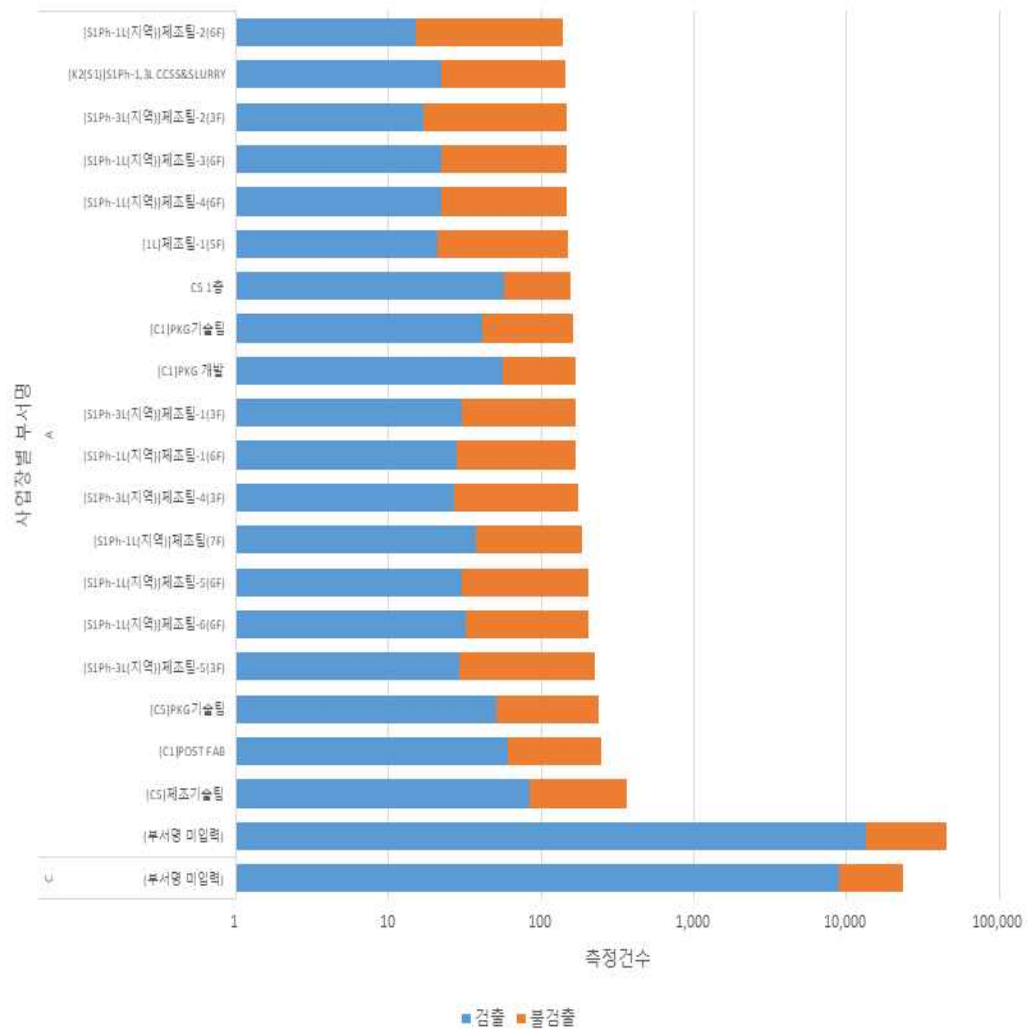
[그림 III-43] 사업장 B와 D의 원청 및 하청별 검출비율

5) 사업장별 부서 및 공정 구분에 따른 측정건수 분포

사업장 A 및 C의 부서별 측정건수는 <표 III-42> 및 [그림 III-44]과 같다. 이 그림에서 x축은 로그 스케일인 것에 유의해서 해석해야 한다. 사업장 A와 C는 공통적으로 부서명이 입력되지 않은 경우가 많아서 사업장 A는 92.7%, 사업장 C는 100%가 미입력 상태였다. 부서가 입력된 경우에도 공정이나 제조단계 정보를 유추할 수 없는 경우가 대부분이었다.

〈표 III-42〉 사업장 A 및 C의 부서별 측정건수

사업장별 부서명		검출	불검출	총합계
C	(부서명 미입력)	8,911	14,566	23,477
	(부서명 미입력)	13,371	31,421	44,792
A	[C5]제조기술팀	84	281	365
	[C1]POST FAB	60	186	246
	[C5]PKG기술팀	51	185	236
	[S1Ph-3L(지역)]제조팀-5(3F)	29	196	225
	[S1Ph-1L(지역)]제조팀-6(6F)	32	172	204
	[S1Ph-1L(지역)]제조팀-5(6F)	30	173	203
	[S1Ph-1L(지역)]제조팀(7F)	37	148	185
	[S1Ph-3L(지역)]제조팀-4(3F)	27	146	173
	[S1Ph-1L(지역)]제조팀-1(6F)	28	141	169
	[S1Ph-3L(지역)]제조팀-1(3F)	30	139	169
	[C1]PKG 개발	56	112	168
	[C1]PKG기술팀	41	120	161
	C5 1층	57	99	156
	[1L]제조팀-1(5F)	21	129	150
	[S1Ph-1L(지역)]제조팀-4(6F)	22	123	145
	[S1Ph-1L(지역)]제조팀-3(6F)	22	123	145
	[S1Ph-3L(지역)]제조팀-2(3F)	17	128	145
	[K2(S1)]S1Ph-1,3L CCSS&SLURRY	22	122	144
	[S1Ph-1L(지역)]제조팀-2(6F)	15	124	139
	합계	14,052	34,268	48,320

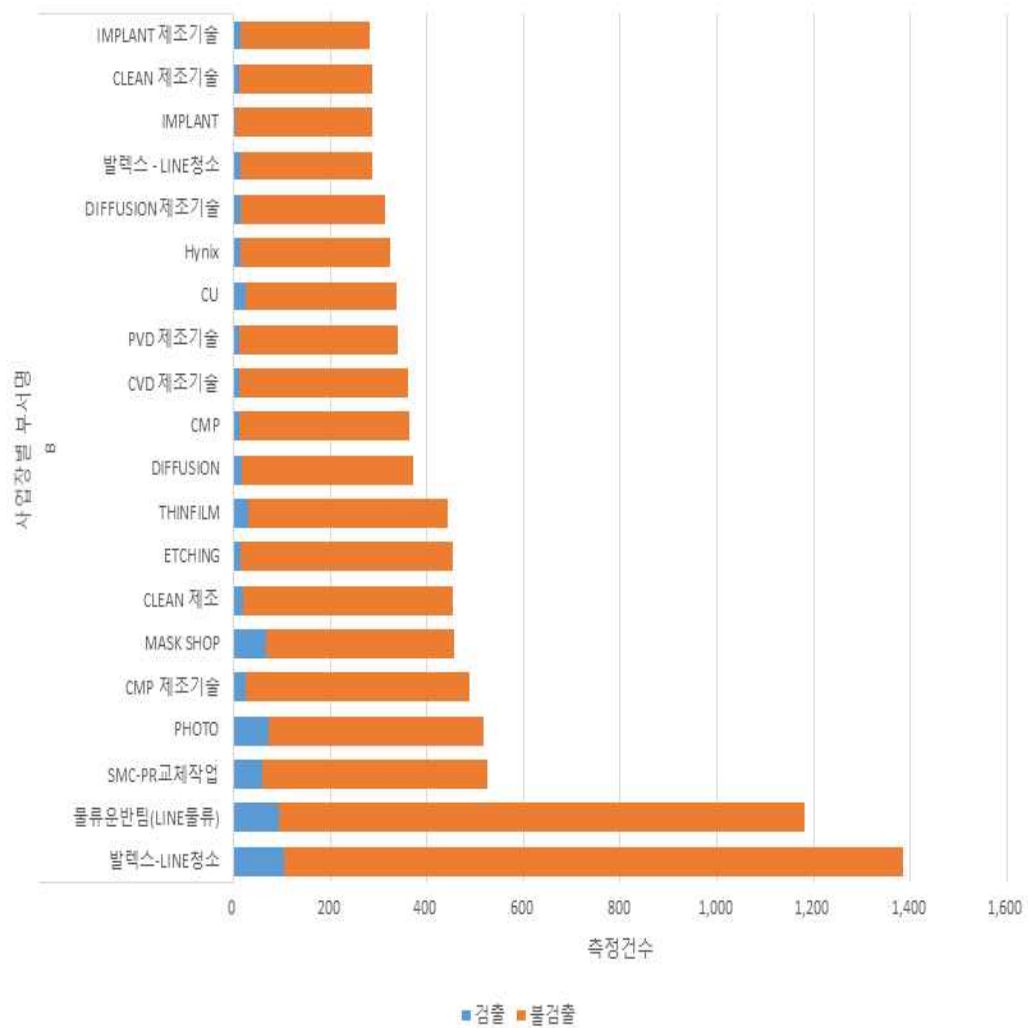


[그림 III-44] 사업장 A 및 C의 부서별 측정건수

사업장 B의 부서별 측정건수는 <표 Ⅲ-43> 및 [그림 Ⅲ-45]와 같다. 측정건수는 외주업체(LINE청소, LINE물류, PR교체)에서 관리하는 부서에서 가장 많았다. 그 외 업체는 모두 원청부서였다. 사업장 B의 부서명은 일반적으로 반도체의 제조단계에 따라 분류되어 있었다.

〈표 Ⅲ-43〉 사업장 B의 부서별 측정건수

부서명	검출	불검출	총합계
발렉스-LINE청소	104	1,282	1,386
물류운반팀(LINE물류)	95	1,085	1,180
SMC-PR교체작업	58	466	524
PHOTO	72	444	516
CMP 제조기술	26	462	488
MASK SHOP	67	390	457
CLEAN 제조	19	435	454
ETCHING	13	440	453
THINFILM	29	413	442
DIFFUSION	18	354	372
CMP	12	352	364
CVD 제조기술	11	349	360
PVD 제조기술	11	328	339
CU	26	310	336
Hynix	15	309	324
DIFFUSION 제조기술	14	298	312
발렉스 - LINE청소	15	273	288
IMPLANT	4	283	287
CLEAN 제조기술	12	274	286
IMPLANT 제조기술	15	267	282

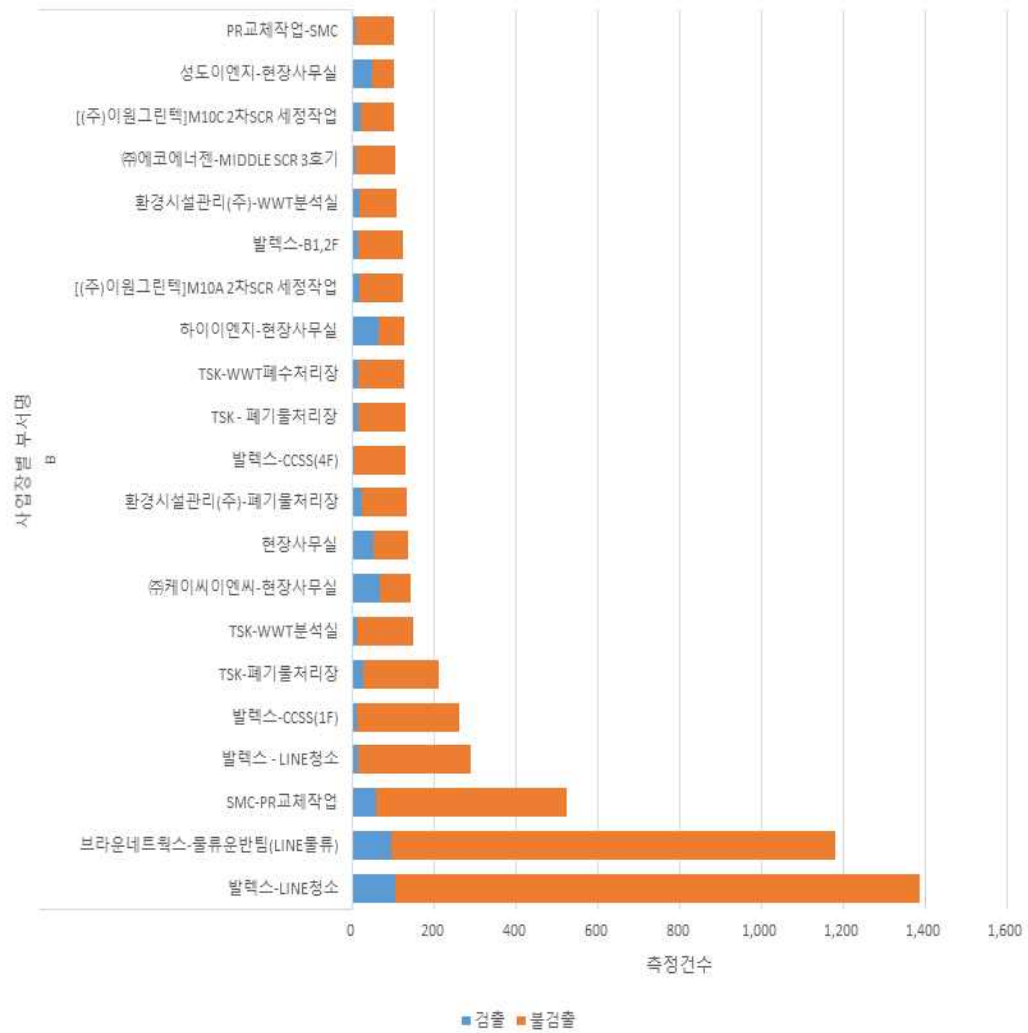


[그림 Ⅲ-45] 사업장 B의 부서별 측정건수 상위 20개

사업장 B의 하청업체 중 측정건수가 많은 부서는 <표 III-44> 및 [그림 III-46]과 같다. 하청으로 원청에서 관리하는 작업이 화학물질 관리(LINE 청소 및 물류, PR 교체,CCSS, 폐기물처리)에 집중된 것을 알 수 있었다.

<표 III-44> 사업장 B의 하청업체 측정건수

부서명	검출	불검출	총합계
발렉스-LINE청소	104	1,282	1,386
브라운네트웍스-물류운반팀(LINE물류)	95	1,085	1,180
SMC-PR교체작업	58	466	524
발렉스 - LINE청소	15	273	288
발렉스-CCSS(1F)	11	249	260
TSK-폐기물처리장	25	187	212
TSK-WWT분석실	10	138	148
(주)케이씨이엔씨-현장사무실	68	74	142
현장사무실	50	85	135
환경시설관리(주)-폐기물처리장	24	108	132
발렉스-CCSS(4F)	3	127	130
TSK - 폐기물처리장	14	116	130
TSK-WWT폐수처리장	15	111	126
하이이엔지-현장사무실	65	60	125
[(주)이원그린텍]M10A 2차SCR 세정작업	16	108	124
발렉스-B1,2F	14	110	124
환경시설관리(주)-WWT분석실	16	92	108
(주)에코에너지-MIDDLE SCR 3호기	8	98	106
[(주)이원그린텍]M10C 2차SCR 세정작업	20	82	102
성도이엔지-현장사무실	49	51	100
PR교체작업-SMC	7	93	100

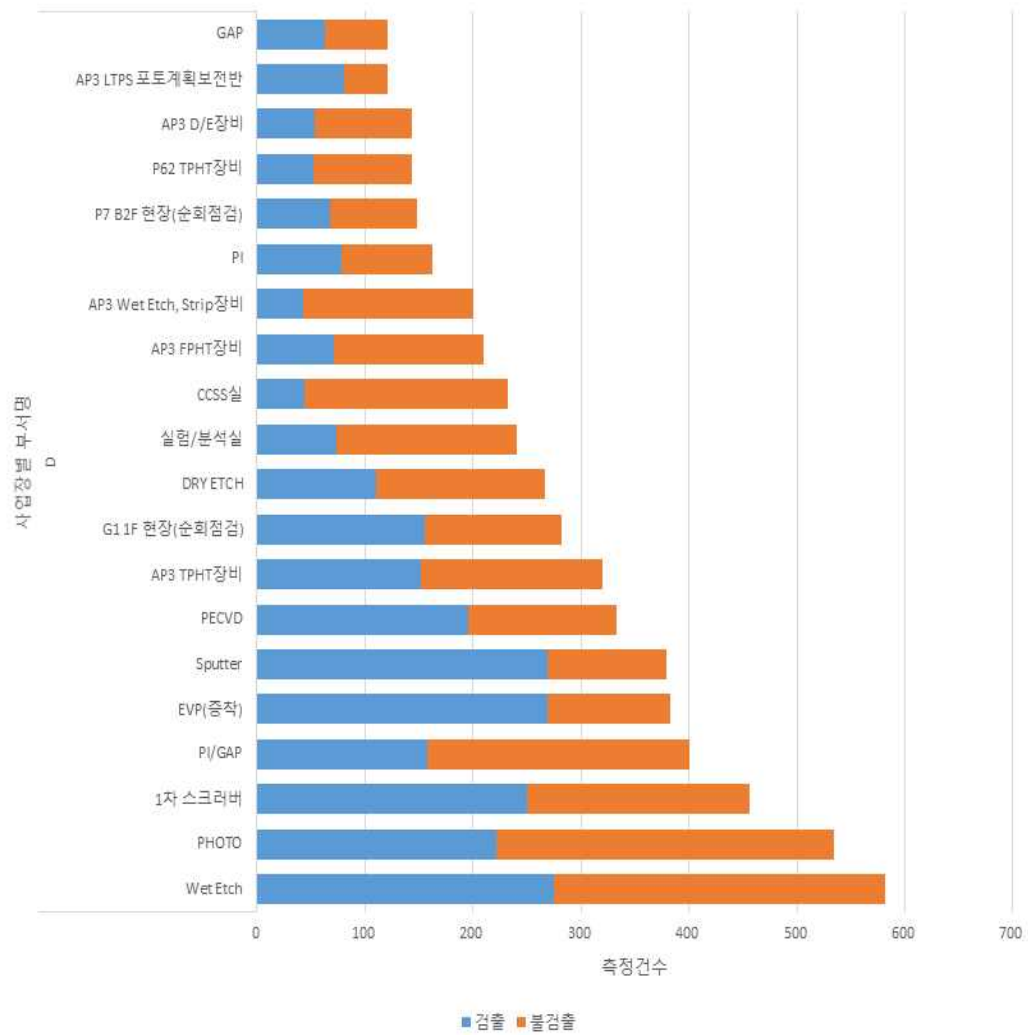


[그림 III-46] 사업장 B의 하청업체 부서별 측정건수 상위 20개

사업장 D의 부서별 측정건수는 <표 III-45> 및 [그림 III-47]과 같다. 사업장 B처럼 부서명이 일반적으로 제품의 제조단계에 따라 분류되어 있었다.

〈표 III-45〉 사업장 D의 부서별 측정건수

부서명	검출	불검출	총합계
Wet Etch	275	307	582
PHOTO	222	312	534
1차 스크리버	250	206	456
PI/GAP	158	242	400
EVP(증착)	269	114	383
Sputter	269	110	379
PECVD	196	137	333
AP3 TPHT장비	152	168	320
G1 1F 현장(순회점검)	155	127	282
DRY ETCH	110	157	267
실험/분석실	74	166	240
CCSS실	44	188	232
AP3 FPHT장비	71	139	210
AP3 Wet Etch, Strip장비	43	157	200
PI	78	84	162
P7 B2F 현장(순회점검)	68	80	148
P62 TPHT장비	52	91	143
AP3 D/E장비	53	90	143
AP3 LTPS 포토계획보전반	81	40	121
GAP	63	58	121

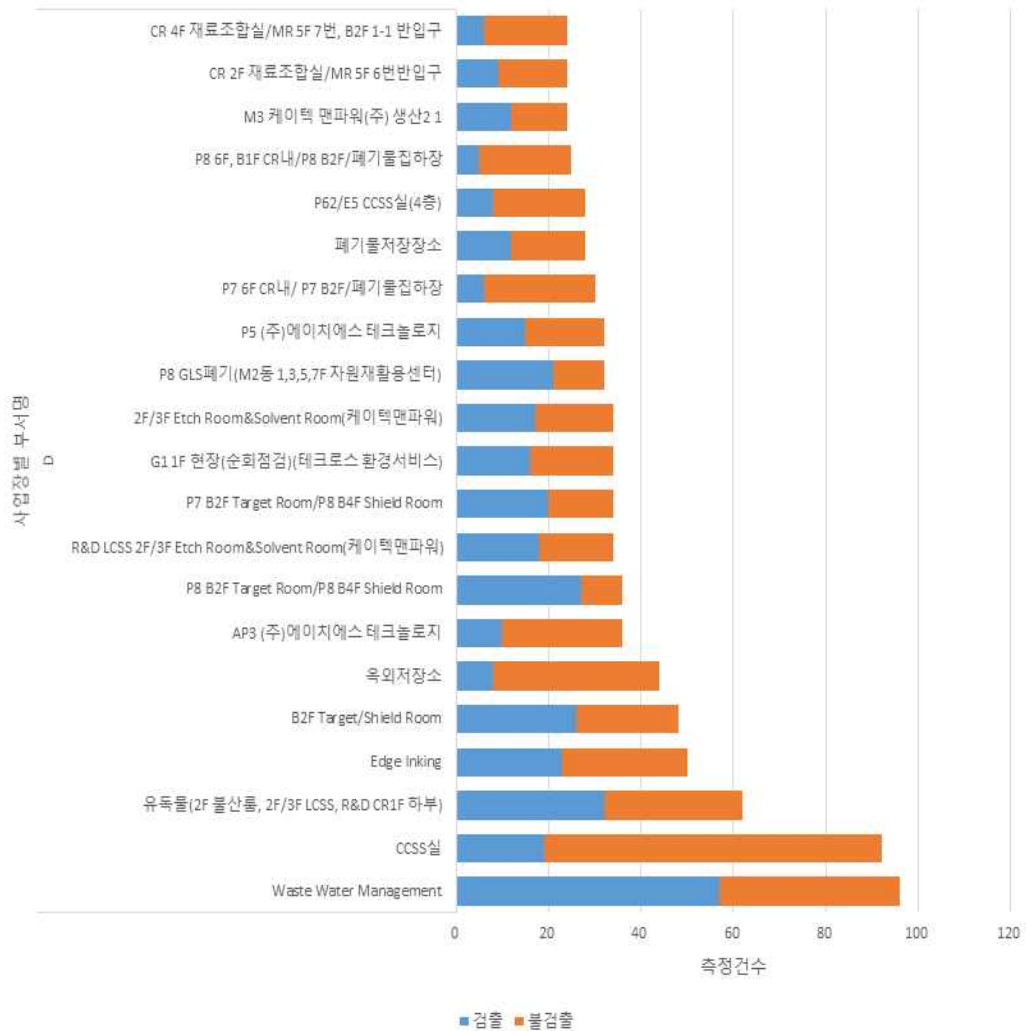


[그림 Ⅲ-47] 사업장 D의 부서별 측정건수 상위 20개

사업장 D의 하청업체 부서별 측정건수는 <표 III-46> 및 [그림 III-48]와 같다. 폐수처리, CCSS 등 화학물질 관리를 외주하는 경우가 상위를 차지하였다.

〈표 III-46〉 사업장 D의 하청업체 부서별 측정건수

부서명	검출	불검출	총합계
Waste Water Management	57	39	96
CCSS실	19	73	92
유독물(2F 불산룸, 2F/3F LCSS, R&D CR1F 하부)	32	30	62
Edge Inking	23	27	50
B2F Target/Shield Room	26	22	48
옥외저장소	8	36	44
AP3 (주)에이치에스 테크놀로지	10	26	36
P8 B2F Target Room/P8 B4F Shield Room	27	9	36
R&D LCSS 2F/3F Etch Room&Solvent Room(케이텍맨파워)	18	16	34
P7 B2F Target Room/P8 B4F Shield Room	20	14	34
G1 1F 현장(순회점검)(테크로스 환경서비스)	16	18	34
2F/3F Etch Room&Solvent Room(케이텍맨파워)	17	17	34
P8 GLS폐기(M2동 1,3,5,7F 자원재활용센터)	21	11	32
P5 (주)에이치에스 테크놀로지	15	17	32
P7 6F CR내/ P7 B2F/폐기물집하장	6	24	30
폐기물저장장소	12	16	28
P62/E5 CCSS실(4층)	8	20	28
P8 6F, B1F CR내/P8 B2F/폐기물집하장	5	20	25
M3 케이텍 맨파워(주) 생산2 1	12	12	24
CR 2F 재료조합실/MR 5F 6번반입구	9	15	24
CR 4F 재료조합실/MR 5F 7번, B2F 1-1 반입구	6	18	24

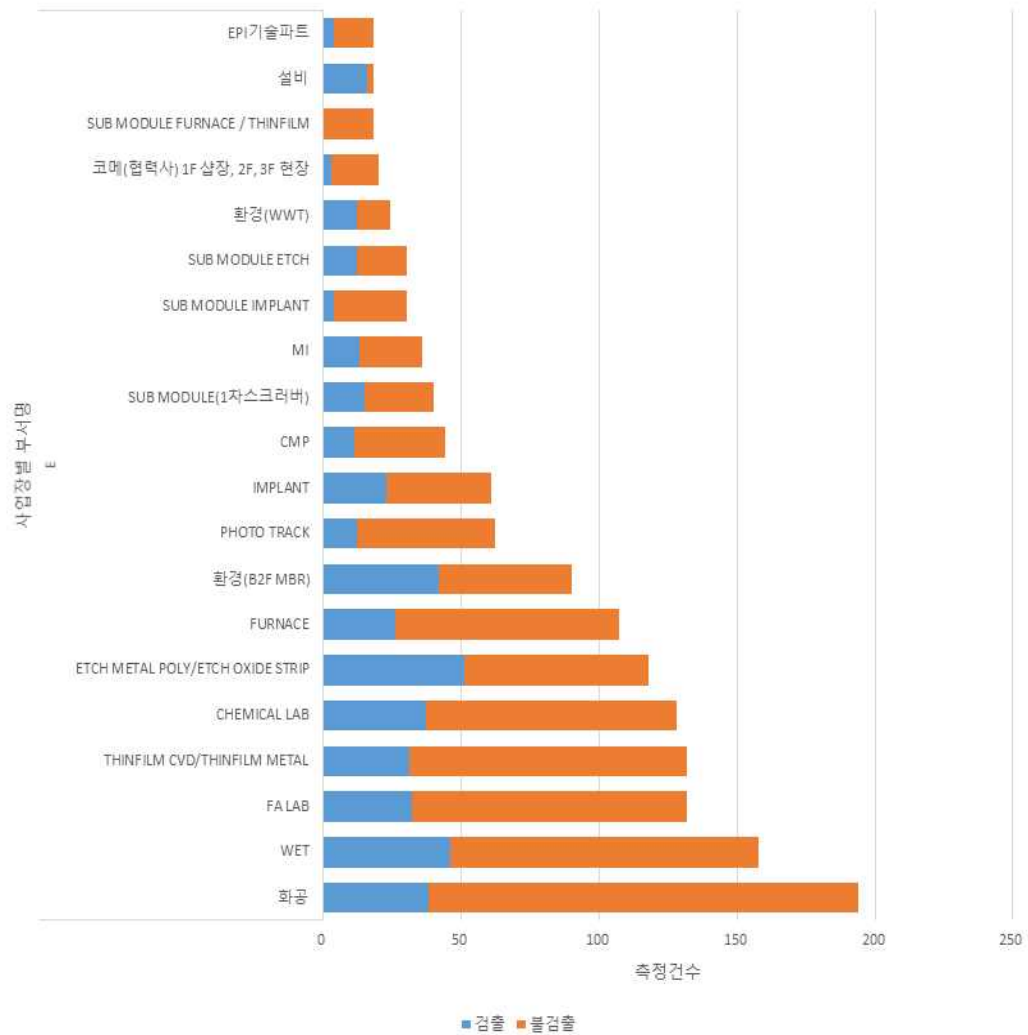


[그림 III-48] 사업장 D 하청업체의 부서별 측정건수 상위 20개

사업장 E의 부서별 측정건수는 <표 III-47> 및 [그림 III-49]과 같다. 사업장 B와 D처럼 부서명에서 제조단계를 추정할 수 있는 경우가 많았고 ‘환경’이라고 표시된 부서는 폐수나 폐기물 처리 등에 해당될 것으로 추정된다.

<표 III-47> 사업장 E의 부서별 측정건수

부서명	검출	불검출	총합계
화공	38	156	194
WET	46	112	158
FA LAB	32	100	132
THINFILM CVD/THINFILM METAL	31	101	132
CHEMICAL LAB	37	91	128
ETCH METAL POLY/ETCH OXIDE STRIP	51	67	118
FURNACE	26	81	107
환경(B2F MBR)	42	48	90
PHOTO TRACK	12	50	62
IMPLANT	23	38	61
CMP	11	33	44
SUB MODULE(1차스크러버)	15	25	40
MI	13	23	36
SUB MODULE IMPLANT	4	26	30
SUB MODULE ETCH	12	18	30
환경(WWT)	12	12	24
코메(협력사) 1F 샵장, 2F, 3F 현장	3	17	20
SUB MODULE FURNACE / THINFILM		18	18
설비	16	2	18
EPI기술파트	4	14	18



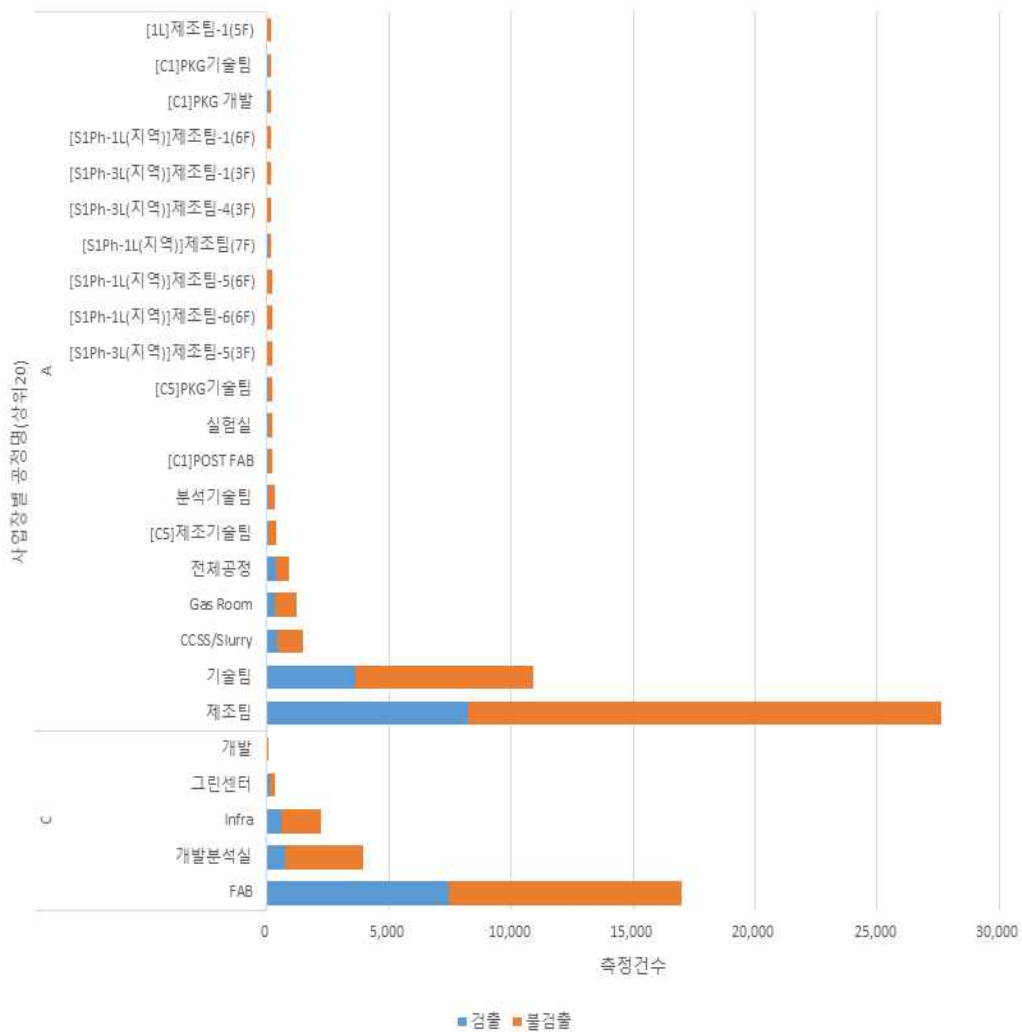
[그림 III-49] 사업장 E의 부서별 측정건수 상위 20개

사업장 A 및 C의 공정별 측정건수는 <표 III-48> 및 [그림 III-50]와 같다. 사업장 C의 경우 부서명을 전혀 표시하지 않았지만 공정명은 5개로 분류하여 표시하였다. 하지만 공정보다는 부서명에 해당되는 구체성이 부족한 분류로 판단된다. 사업장 A의 경우에도 공정보다는 지역별로 구분하는 경우가 많았다. 두 사업장 모두 제조팀(FAB)에서 가장 측정건수가 많았다.

<표 III-48> 사업장 A 및 C의 공정별 측정건수

사업장별 공정명		검출	불검출	총합계
C	FAB	7,462	9,525	16,987
	개발분석실	742	3,213	3,955
	Infra	566	1,667	2,233
	그린센터	141	159	300
	개발	0	2	2
	합계	8,911	14,566	23,477
A	제조팀	8,227	19,381	27,608
	기술팀	3,626	7,262	10,888
	CCSS/Slurry	429	1,065	1,494
	Gas Room	309	906	1,215
	전체공정	390	501	891
	[C5]제조기술팀	84	281	365
	분석기술팀	47	267	314
	[C1]POST FAB	60	186	246
	실험실	45	197	242
	[C5]PKG기술팀	51	185	236
	[S1Ph-3L(지역)]제조팀-5(3F)	29	196	225
	[S1Ph-1L(지역)]제조팀-6(6F)	32	172	204
	[S1Ph-1L(지역)]제조팀-5(6F)	30	173	203
	[S1Ph-1L(지역)]제조팀(7F)	37	148	185
	[S1Ph-3L(지역)]제조팀-4(3F)	27	146	173
	[S1Ph-3L(지역)]제조팀-1(3F)	30	139	169

사업장별 공정명	검출	불검출	총합계
[S1Ph-1L(지역)]제조팀-1(6F)	28	141	169
[C1]PKG 개발	56	112	168
[C1]PKG기술팀	41	120	161
[1L]제조팀-1(5F)	21	129	150
합계	13,599	31,707	45,306

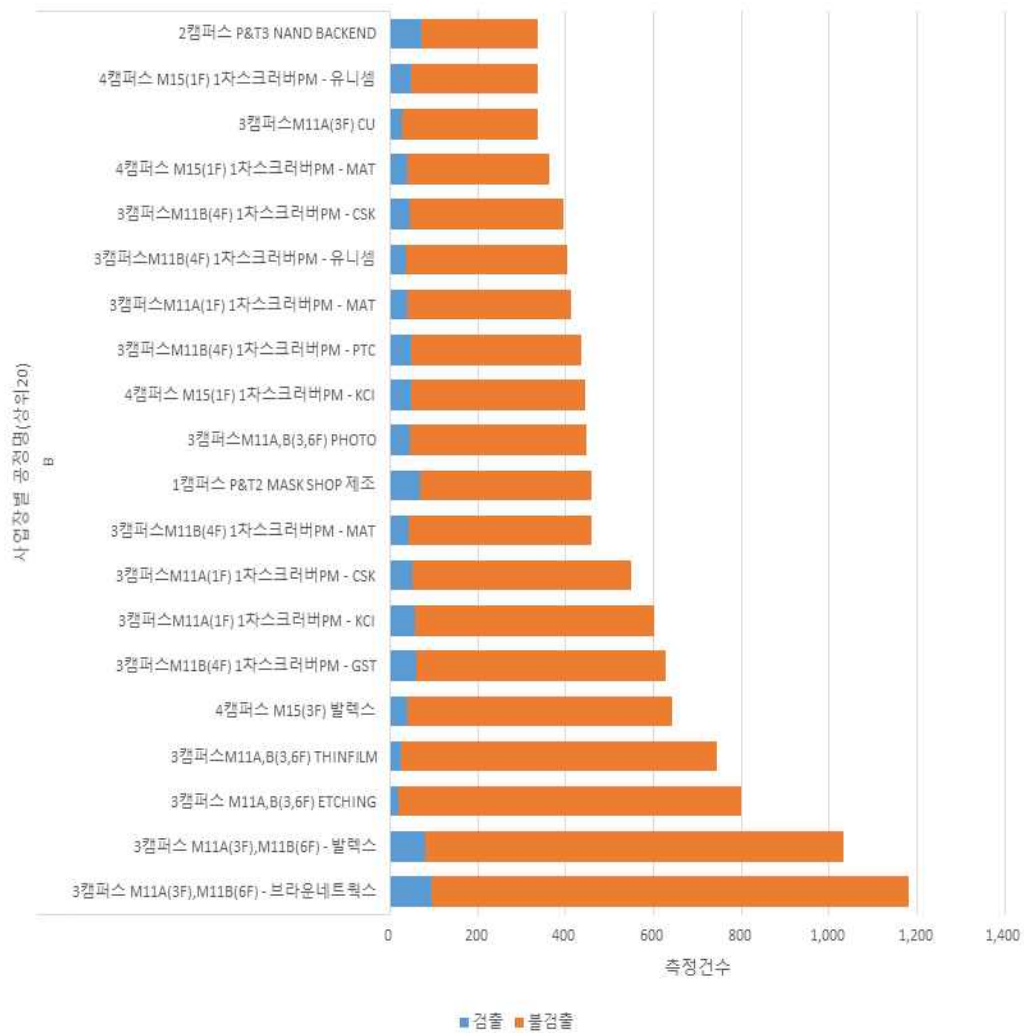


[그림 III-50] 사업장 A 및 C의 공정별 측정건수

사업장 B의 공정별 측정건수는 <표 III-49> 및 [그림 III-51]와 같다. 측정이 가장 많이 이루어진 공정명은 '1차스크러버'를 관리하는 공정이었다.

〈표 III-49〉 사업장 B의 공정별 측정건수

공정명	검출	불검출	총합계
3캠퍼스 M11A(3F),M11B(6F) - 브라운네트웍스	95	1,085	1,180
3캠퍼스 M11A(3F),M11B(6F) - 발렉스	79	953	1,032
3캠퍼스 M11A,B(3,6F) ETCHING	19	781	800
3캠퍼스M11A,B(3,6F) THINFILM	24	719	743
4캠퍼스 M15(3F) 발렉스	40	602	642
3캠퍼스M11B(4F) 1차스크러버PM - GST	60	568	628
3캠퍼스M11A(1F) 1차스크러버PM - KCI	58	542	600
3캠퍼스M11A(1F) 1차스크러버PM - CSK	50	500	550
3캠퍼스M11B(4F) 1차스크러버PM - MAT	43	415	458
1캠퍼스 P&T2 MASK SHOP 제조	67	390	457
3캠퍼스M11A,B(3,6F) PHOTO	45	403	448
4캠퍼스 M15(1F) 1차스크러버PM - KCI	47	397	444
3캠퍼스M11B(4F) 1차스크러버PM - PTC	48	388	436
3캠퍼스M11A(1F) 1차스크러버PM - MAT	40	372	412
3캠퍼스M11B(4F) 1차스크러버PM - 유니셈	37	365	402
3캠퍼스M11B(4F) 1차스크러버PM - CSK	44	351	395
4캠퍼스 M15(1F) 1차스크러버PM - MAT	38	324	362
3캠퍼스M11A(3F) CU	26	310	336
4캠퍼스 M15(1F) 1차스크러버PM - 유니셈	47	289	336
2캠퍼스 P&T3 NAND BACKEND	72	263	335

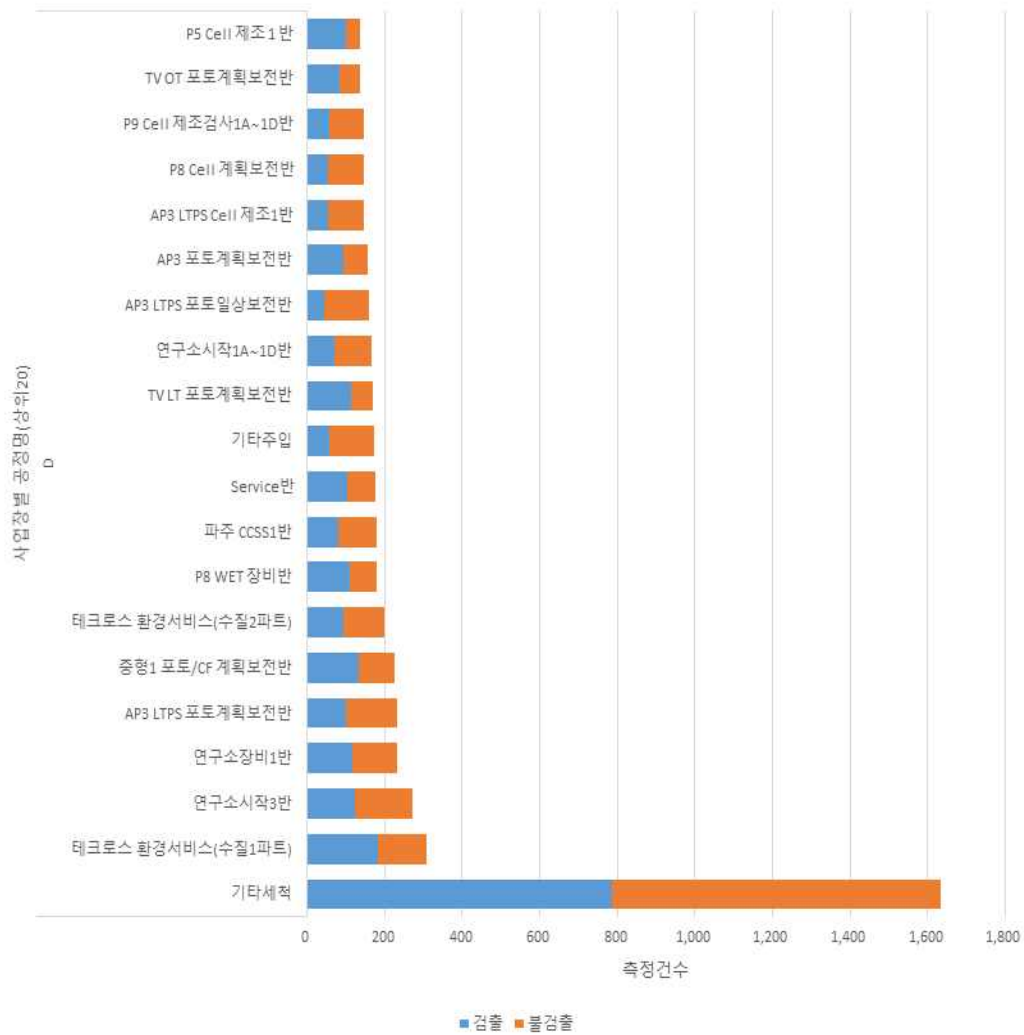


[그림 III-51] 사업장 B의 공정별 측정건수

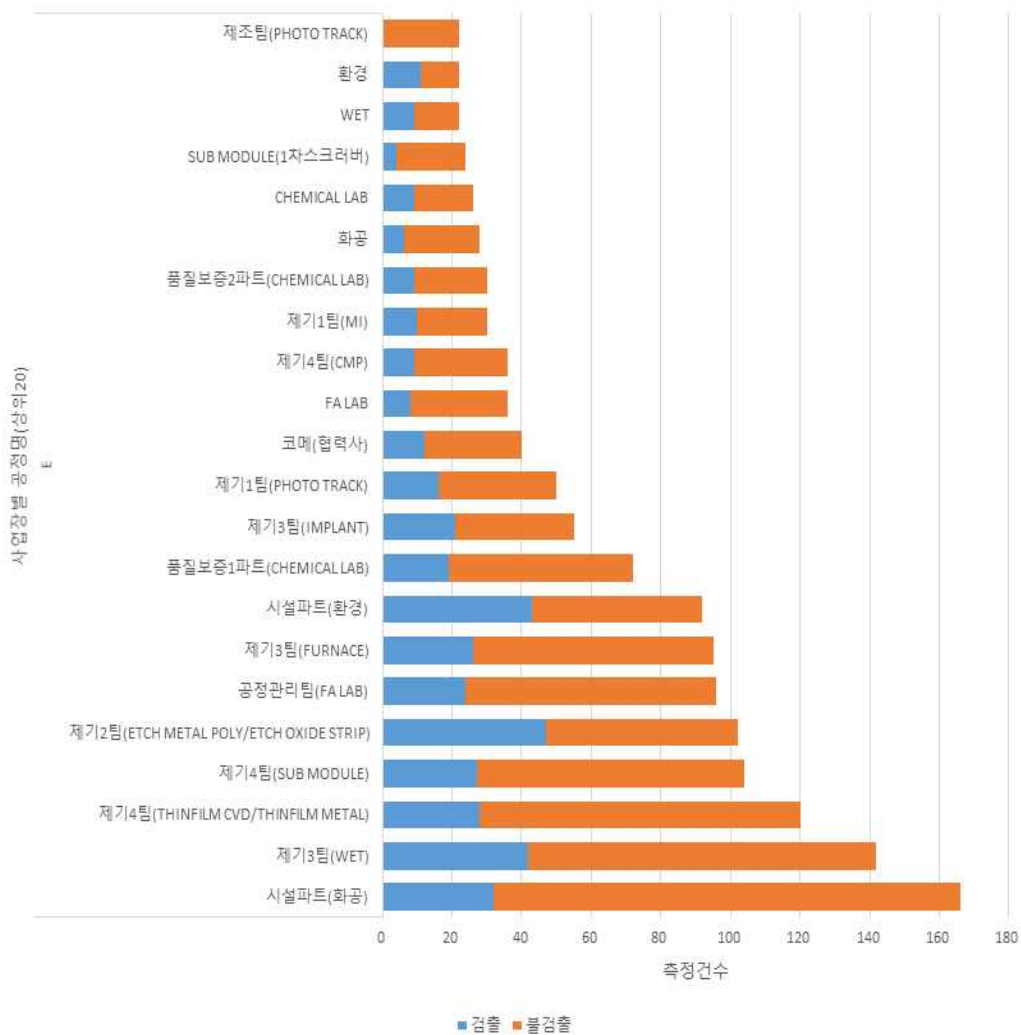
사업장 D의 공정별 측정건수는 <표 III-50> 및 [그림 III-52]과 같다. 세척 공정이 가장 많은 측정건수를 기록하였다.

<표 III-50> 사업장 D의 공정별 측정건수

공정명	검출	불검출	총합계
기타세척	785	850	1635
테크로스 환경서비스(수질1파트)	182	126	308
연구소시작3반	124	147	271
연구소장비1반	117	115	232
AP3 LTPS 포토계획보전반	100	132	232
중형1 포토/CF 계획보전반	132	94	226
테크로스 환경서비스(수질2파트)	94	106	200
P8 WET 장비반	109	70	179
파주 CCSS1반	81	97	178
Service반	103	73	176
기타주입	58	116	174
TV LT 포토계획보전반	114	54	168
연구소시작1A~1D반	69	97	166
AP3 LTPS 포토일상보전반	44	114	158
AP3 포토계획보전반	93	63	156
AP3 LTPS Cell 제조1반	54	93	147
P8 Cell 계획보전반	55	91	146
P9 Cell 제조검사1A~1D반	56	90	146
TV OT 포토계획보전반	85	52	137
P5 Cell 제조 1 반	101	35	136



[그림 III-52] 사업장 D의 공정별 추정건수



[그림 III-53] 사업장 E의 공정별 측정건수

사업장 E의 공정별 측정건수는 <표 III-51> 및 [그림 III-53]와 같다. 시설 관리 공정이 가장 많은 측정건수를 기록하였다. 내부부서명 뒤에 괄호 안에 공정명을 기록하여 다른 사업장과의 비교에 대한 가능성을 유지하고 있었다.

〈표 III-51〉 사업장 E의 공정별 측정건수

공정명	검출	불검출	총합계
시설파트(화공)	32	134	166
제기3팀(WET)	42	100	142
제기4팀(THINFILM CVD/THINFILM METAL)	28	92	120
제기4팀(SUB MODULE)	27	77	104
제기2팀(ETCH METAL POLY/ETCH OXIDE STRIP)	47	55	102
공정관리팀(FA LAB)	24	72	96
제기3팀(FURNACE)	26	69	95
시설파트(환경)	43	49	92
품질보증1파트(CHEMICAL LAB)	19	53	72
제기3팀(IMPLANT)	21	34	55
제기1팀(PHOTO TRACK)	16	34	50
코메(협력사)	12	28	40
FA LAB	8	28	36
제기4팀(CMP)	9	27	36
제기1팀(MI)	10	20	30
품질보증2파트(CHEMICAL LAB)	9	21	30
화공	6	22	28
CHEMICAL LAB	9	17	26
SUB MODULE(1차스크러버)	4	20	24
WET	9	13	22
환경	11	11	22
제조팀(PHOTO TRACK)		22	22

6) 소결

전자산업 업체 5곳의 3년간 측정결과 총 161개 유해인자에 대해 158,318 개였으며, 검출률은 26.55%였다. 사업장별 검출률이 가장 낮은 곳은 B(9.6%)였고, 가장 검출률이 높은 곳은 D(48.2%)였다. 가장 많은 측정이 실시된 물질은 ‘불화수소’였으나, 거의 대부분 불검출이었고, 검출률이 가장 높은 유해인자는 오존이었다. 3년간 총 측정건수 중 검출된 자료만 분석했을 때, 오존 > 암모니아 > 이소프로필 알콜 > 기타광물성분진 등의 순서로 확인되었다. 측정자료의 부서명, 공정명, 단위작업장소 정보에서 하청업체명, 협력사 등 하청업체 직원에 대한 측정이라는 사실을 확인할 수 있는 사업장은 B와 D였다.

측정자료의 ‘부서’, ‘공정’의 입력 정보는 5개 사업장 대부분 표준화된 정보를 활용하고 있지 않아 유사 부서 혹은 공정별 노출 특성을 분석하기가 어려웠다. 특히 사업장 C는 ‘부서’ 정보가 모두 미입력되어 있고, 사업장 A도 대부분 미입력이었다.

4. 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 산업재해 보상 통계 자료 분석 및 쟁점

1) 반도체, 디스플레이 산업재해 특성 분석

(1) 산재자료의 통계분석 개요

- 자료의 기간: 2013-2022년 10년간 자료
- 제조업 산재 건수: 전수 285,243건
- 서비스업 산재 건수: 전수 364,883건
- 이 중 3개 반도체, 2개 디스플레이 주요 사업장 자료 697건 분석 시행

(2) 반도체, 디스플레이 산업재해 특성 분석용 자료 추출 방법

가) 자료 추출을 위한 키워드

- 키워드 1: 사업장명 변수에 다음의 사업장명이 포함하는 경우
- 키워드 2: 사건개요 변수에 위의 사업장명이 포함되는 경우
- 키워드 3: 사건개요 변수에 다음의 단어가 포함된 경우

“반도체, 디스플레이, LCD, OLED, 웨이퍼, FAB, 액정, 포토, 에칭, 식각, 증착, 임플란터, 이온주입, 클린룸 ”

나) 자료 추출 방법

- 키워드 1,2,3 중 어느 하나라도 포함된 것 추출
- 제조업 전체 285,243건 중에 1,402건 추출됨.
- 추출된 자료를 3명의 전문가가 검토하여 정밀 분석 대상 건 분류 (전문가 : 김형렬, 류현철, 고동희)
- 정비작업 관련 산재 자료 연관성 점수화: 3점: 확실, 2점: 가능, 1점: 아님, 0점: 모름

다) 자료 추출 결과

연관성 점수 3점이 부여된 제조업 176건, 서비스업 18건으로 총 194건 자료 추출하였다.

2) 전자산업 산업재해 통계 분석

(1) 산재자료의 개요

- 자료의 기간: 2013-2022년 10년간 자료
- 제조업 자료: 전수 285,243건
- 근로복지공단 업종분류 ‘전기기계기구, 정밀기구, 전자제품제조업’은 16,596 건이었으며, 하위의 ‘전자관 또는 반도체소자 제조업’은 4,364건 이었다.

- 근로복지공단 업종분류 ‘전자관 또는 반도체소자 제조업’에는 다양한 업종 (표준산업분류 기준)이 포함되어 있었다. 따라서 ‘전자관 또는 반도체소자 제조업’에 해당하는 사업장을 분석 대상으로 하지 않고, 3개 주요 반도체 제조 회사, 2개 디스플레이 제조 회사를 선정하여 이 자료에 대해 분석을 시행하였다.

〈표 Ⅲ-52〉 근로복지공단 업종분류 ‘전자관 또는 반도체소자제조업’에 속한
사업장의 표준산업분류

산업 분류	산업분류 소분류(3자리)명	건수
204	기타 화학제품 제조업	4
222	플라스틱제품 제조업	3
232	내화, 비내화 요업제품 제조업	13
239	기타 비금속 광물제품 제조업	4
259	기타 금속 가공제품 제조업	7
261	반도체 제조업	605
262	전자부품 제조업	1992
263	컴퓨터 및 주변장치 제조업	121
264	통신 및 방송 장비 제조업	61
265	영상 및 음향기기 제조업	209
272	측정, 시험, 항해, 제어 및 기타 정밀기기 제조업; 광학기기 제외	1
281	전동기, 발전기 및 전기 변환·공급·제어 장치 제조업	92
282	일차전지 및 축전지 제조업	1
284	전구 및 조명장치 제조업	2
289	기타 전기장비 제조업	68
292	특수 목적용 기계 제조업	4
303	자동차 신품 부품 제조업	15
332	약기 제조업	1

산업 분류	산업분류 소분류(3자리)명	건수
334	인형, 장난감 및 오락용품 제조업	1
339	그 외 기타 제품 제조업	1
562	주점 및 비알코올 음료점업	1
649	기타 금융업	1
751	고용알선 및 인력공급업	5
〈NA〉	〈NA〉	1152

(2) 통계 분석용 자료의 추출

- 반도체 제조 회사 3개소, 디스플레이 제조 회사 2개소를 분석 대상으로 하였다.
- 총 분석대상은 697 건이었다.

가) 연도별 건수

2013년이 108건으로 가장 많았으며 그 이후로는 발생건수의 큰 변화는 없었다.

〈표 III-53〉 분석대상 사업장의 연도별 산업재해 건수

연도	display	semi-conductor	Total
2013년	7	101	108
2014년	7	52	59
2015년	32	48	80
2016년	10	31	41
2017년	20	36	56
2018년	21	37	58
2019년	17	65	82
2020년	22	28	50

연도	display	semi-conductor	Total
2021년	25	46	71
2022년	22	70	92
Total	183	514	697

(3) 산업코드, 직업코드

산재자료에는 근로복지공단 업종코드(5자리), 표준산업분류(5자리), 표준직업분류(3자리)로 코딩되어 있었다.

가) 한국표준산업분류

- 한국표준산업분류는 2017년7월 기존 KSIC-9에서 KSIC-10 으로 변경되었다.
- 변경된 업종 코드에 따르면 반도체, 디스플레이 업종은 다음표와 같다.

〈표 III-54〉 표준산업분류에 따른 반도체, 디스플레이 산업의 코드

KSIC-10		KSIC-9	
코드	항목명	코드	항목명
26111	메모리용 전자집적회로 제조업	26110	전자집적회로 제조업
26112	비메모리용 및 기타 전자집적회로 제조업	26110	전자집적회로 제조업
26121	발광 다이오드 제조업	26120	다이오드, 트랜지스터 및 유사 반도체소자 제조업
26129	기타 반도체소자 제조업	26120	다이오드, 트랜지스터 및 유사 반도체소자 제조업
26211	액정 표시장치 제조업	26211	액정 평판 디스플레이 제조업
26212	유기발광 표시장치 제조업	26219	플라즈마 및 기타 평판 디스플레이 제조업
26219	기타 표시장치 제조업	26219	플라즈마 및 기타 평판 디스플레이 제조업

나) 한국표준직업분류

- 한국표준직업분류는 2018년부터 KSCO-6에서 KSCO-7으로 변경되었다.
- 산재자료에는 표준산업분류 3자리 코드로 되어있다.
- 산재 원자료는 5자리로 입력하고 있다.

(4) 성, 연령 분포

총 697 명의 분석대상 중 남성이 420명(60%), 여성이 277명(40%) 이었다.

〈표 III-55〉 분석 대상자의 성, 연령 분포

나이	남		여		총합	
	N	%	N	%	N	%
18세~24세	8	1.9	47	17.0	55	7.9
25세~29세	66	15.7	79	28.5	145	20.8
30세~34세	120	28.6	74	26.7	194	27.8
35세~39세	101	24.0	54	19.5	155	22.2
40세~44세	75	17.9	18	6.5	93	13.3
45세~49세	29	6.9	3	1.1	32	4.6
50세~54세	16	3.8	1	0.4	17	2.4
55세~59세	3	0.7	0	0.0	3	0.4
60이상	2	0.5	1	0.4	3	0.4
총합	420	100	277	100	697	100

(5) 산업, 직업 분포

표준산업분류에 따르면 분석대상에서 산업 코드가 없는 경우가 453 건으로 65% 였다.

〈표 III-56〉 분석 대상자의 표준산업분류 분포

표준산업코드명 (5자리)	display	semiconductor
기타 반도체 소자 제조업	0	126
다이오드, 트랜지스터 및 유사 반도체소자 제조업	0	34
비디오 및 기타 영상 기기 제조업	74	0
비메모리용 및 기타 전자집적회로 제조업	0	9
전자집적회로 제조업	0	1
〈NA〉	109	344

○ 직업 분포는 분류불능 38건으로 미분류 건이 많지는 않았다.

○ 가장 많은 직업은 ‘전기 및 전자 관련 기계조작직’ 이었다.

〈표 III-57〉 분석 대상자의 표준직업분류 분포

표준직업분류 (2자리)	display	semi-conductor	Total
건설·전기 및 생산 관련관리직	10	31	41
경영 및 회계 관련사무직	28	54	82
경영·금융 전문가 및 관련직	0	3	3
경찰·소방 및 보안 관련 서비스직	0	1	1
공공 및 기업 고위직	0	2	2
공학 전문가 및 기술직	25	42	67
관리자	0	7	7
금속 및 비금속 관련 기계조작직	8	12	20
기계제조 및 관련 기계조작직	0	1	1
기능원 및 관련 기능 종사자	1	0	1
기타 기능 관련직	12	3	15
농림어업 및 기타 서비스 단순노무직	1	1	2
단순노무 종사자	2	5	7
목재·인쇄 및 기타 기계조작직	6	22	28
문화·예술·스포츠 전문가 및 관련직	1	1	2

표준직업분류 (2자리)	display	semi-conductor	Total
분류불능	11	27	38
사무 종사자	0	2	2
상담·안내·통계 및 기타 사무직	3	2	5
운송 및 기계 관련 기능직	3	16	19
전기 및 전자 관련 기계조작직	32	128	160
전기 및 전자 관련 기능직	0	2	2
전문서비스 관리직	7	27	34
정보통신 전문가 및 기술직	2	5	7
제조관련 단순노무직	27	114	141
청소 및 경비 관련 단순노무직	0	1	1
판매 및 고객서비스 관리직	1	0	1
행정 및 경영지원 관리직	0	2	2
화학관련 기계조작직	3	3	6
Total	183	514	697

(6) 산업재해 분석

가) 재해자 구분

질병사망자 30명이었고, 사고 부상자가 563명으로 가장 많았다.

〈표 III-58〉 재해자 구분

	display	semiconductor	Total
그외사고사망자	0	3	3
사고부상자	156	407	563
사고사망자	1	2	3
질병사망자	7	33	40
질병이환자	19	69	88
Total	183	514	697

나) 발생형태

- 재해 발생 형태는 체육행사사고, 넘어짐이 가장 많았다.
- 직업병, 화학물질접촉도 81건으로 11.6%에 해당하였다.

〈표 III-59〉 재해 발생 형태

발생형태	display	semiconductor	Total
감전	0	2	2
기타	0	1	1
깔림·뒤집힘	2	4	6
끼임	27	30	57
넘어짐	33	112	145
떨어짐	6	7	13
물체에 맞음	8	19	27
부딪힘	18	33	51
불균형 및 무리한동작	18	44	62
사업장내교통사고	1	2	3
사업장외교통사고	3	17	20
산소결핍	1	0	1
이상온도 접촉	0	7	7
작업관련질병(뇌심 등)	14	36	50
절단·베임·찔림	5	11	16
직업병(진폐 제외)	12	66	78
체육행사 등의 사고	34	120	154
폭발·파열	0	1	1
화학물질누출·접촉	1	2	3
Total	183	514	697

다) 직업병 분류

직업병 중에서 직업성 암이 64건으로 가장 많았다.

〈표 III-60〉 직업병 분류

직업병 분류	display	semicondu ctor	Total
뇌혈관질환	3	2	5
독성간염	0	1	1
벤젠	0	1	1
비사고성·작업관련성요통	3	1	4
사고성요통	1	12	13
세균, 바이러스	0	1	1
수근관증후군	1	0	1
신체에 과도한 부담을 주는 작업	4	6	10
심장질환	0	10	10
유기화합물 기타(유기용제)	0	1	1
유기화합물 기타(화학물질)	1	1	2
작업관련성질환 기타	1	0	1
정신질환	1	5	6
직업병기타	0	7	7
직업성 피부질환	1	0	1
직업성 암	10	54	64
해당없음	157	412	569
Total	183	514	697

라) 기인물

가장 빈도가 높은 기인물은 옥외바닥 및 지표면이었다.

〈표 III-61〉 산재 기인물 분류

기인물	display	semiconductor	Total
강재(판넬, 시트 등)	2	1	3
고무줄, 끈	1	0	1
공동구, 하수구, 배수구	0	1	1
관람석, 유흥시설	0	1	1
기둥, 벽체	1	1	2
기타 가구 및 사무기구	0	2	2
기타 건물·구조물 등	0	1	1
기타 건축물·구조물의 구성요소, 부속물	1	1	2
기타 고정, 연결 부품 및 부속물	1	0	1
기타 바닥, 통로 등	0	1	1
기타 부품, 부속물 및 재료	3	3	6
기타 비금속광물 제품	1	0	1
기타 생활용품 및 기구	1	2	3
기타 설비·기계기구 부품 및 부속물	3	3	6
기타 승강기	0	1	1
기타 운반·포장용 용기, 꾸러미 및 기구	1	0	1
기타 의복·보호장비 및 장신구류	1	0	1
기타 일반제조 및 가공설비·기계	1	1	2
기타 전기설비, 부품	0	1	1
기타 조리·실험 등 취급용 용기 및 기구	0	1	1
기타 조립, 포장, 용접 등 설비·기계	1	0	1
기타 특수공정설비·기계	1	0	1
기타비계	1	0	1

기인물	display	semiconductor	Total
단부	1	0	1
동력식 대차	1	0	1
라커, 캐비닛, 케이스	1	4	5
문, 창문	4	15	19
바닥개구부	1	1	2
박스, 상자	1	3	4
배관 및 부속설비	0	2	2
버스	2	11	13
보호의, 보호구 및 보호장비	1	0	1
복합음식	0	1	1
분류되지 않은 기타 설비·기계	2	2	4
분류되지 않은 기타 운반, 인양설비·기계	1	0	1
분류되지 않은 배관 및 부속물	0	1	1
분류불능	0	8	8
분전반, 개폐기, 퓨즈	0	1	1
불화수소	0	1	1
비산업용 가열, 세탁, 청소기계기구	0	3	3
사람(재해자 이외의 타인)	4	19	23
사람(재해자 자신)	3	26	29
사무용기계기구	0	1	1
산업용로봇	1	1	2
상세정보 부족한 개구부	0	2	2
상세정보 부족한 건축물·구조물 및 표면	1	0	1
상세정보 부족한 금속가공기계	1	0	1
상세정보 부족한 맨홀, 터널 등	0	1	1
상세정보 부족한 바닥, 통로 등	0	4	4
상세정보 부족한 부품, 부속물 및 재료	6	5	11

기인물	display	semiconductor	Total
상세정보 부족한 사다리	1	0	1
상세정보 부족한 설비·기계	7	13	20
상세정보 부족한 설비·기계 부품 및 부속물	0	1	1
상세정보 부족한 설비·기계기구 부품 및 부속물	1	1	2
상세정보 부족한 식품	0	1	1
상세정보 부족한 육상교통수단	2	7	9
상세정보 부족한 육상운반·특장차량	0	1	1
상세정보 부족한 육상일반차량	1	0	1
상세정보 부족한 인양설비·기계	1	0	1
상세정보 부족한 일반제조 및 가공설비·기계	10	19	29
상세정보 부족한 작업발판	0	1	1
상세정보 부족한 재료	1	1	2
상세정보 부족한 전기설비, 부품	0	1	1
상세정보 부족한 컨베이어	1	0	1
솔, 냄비, 팬 등 조리기구	0	2	2
수산화나트륨, 수산화칼륨, 탄산칼륨	1	0	1
승용승강기	0	1	1
여가 및 운동기구·장비	12	32	44
영구용계단	14	51	65
옥내바닥	14	32	46
옥외바닥 및 지표면	26	68	94
운반용 들통, 바구니	0	2	2
유리	0	2	2
의자	0	5	5
이동식 사다리	0	2	2
인력양중기	0	1	1
인력운반기구	6	6	12

기인물	display	semiconductor	Total
자전거	1	0	1
작업발판(작업대)	2	5	7
절단용 수공구	1	4	5
접시, 쟁반, 컵 등 그릇류	0	1	1
조임용 수공구	1	1	2
지게차	1	0	1
책상	0	1	1
캔, 드럼	0	1	1
택시, 승용차	2	1	3
테이블	0	1	1
통로, 인도, 도로	0	5	5
팔레트, 스키드	0	3	3
펌프 등 이송 및 압축설비	0	3	3
포장기계	0	1	1
플장, 목욕시설	0	1	1
해당없음	26	102	128
화물운반트럭	0	1	1
Total	183	514	697

(7) 질환 분석

- 질환 분류는 한국표준질병사인분류(Korean Standard Classification of Diseases, KCD-8)을 따른다.
- 다양한 상병명이 있으나 근골격계질환, 각종 암이 다수를 차지했다.

〈표 III-62〉 산재 상병명 분포

KCD	상병명	display	semiconductor	Total
C34	기관지 및 폐의 악성 신생물	1	4	5
C43	피부의 악성 흑색종	0	1	1
C50	유방의 악성 신생물(C50)	1	9	10
C56	난소의 악성 신생물	0	7	7
C71	뇌의 악성 신생물	2	10	12
C80	부위의 명시가 없는 악성 신생물	0	1	1
C82	소포성 림프종	1	0	1
C83	비소포성 림프종	1	0	1
C85	기타 및 상세불명 유형의 비호지킨림프종	1	1	2
C86	T/NK-세포림프종의 기타 명시된 형태	0	1	1
C88	악성 면역증식성 질환	0	2	2
C91	림프성 백혈병	1	2	3
C92	골수성 백혈병	1	12	13
C95	상세불명 세포형의 백혈병	1	0	1
D43	뇌 및 중추신경계통의 행동양식 불명 또는 미상의 신생물	1	0	1
D61	기타 무형성빈혈	0	3	3
F32	우울에피소드	0	1	1
F43	심한 스트레스에 대한 반응 및 적응장애	1	3	4
G35	다발경화증	0	3	3

KCD	상병명	display	semiconductor	Total
G36	기타 급성 파종성 탈수초	0	1	1
G56	팔의 단일신경병증	1	0	1
G93	뇌의 기타 장애	0	2	2
G95	척수의 기타 질환	0	1	1
H27	수정체의 기타 장애	0	1	1
I24	기타 급성 허혈심장질환	0	3	3
I25	만성 허혈심장병	0	2	2
I42	심근병증	0	1	1
I46	심장정지	0	2	2
I60	거미막하출혈	1	0	1
I61	뇌내출혈	1	0	1
I63	뇌경색증	0	1	1
K22	식도의 기타 질환	0	1	1
K66	복막의 기타 장애	1	0	1
L30	기타 피부염	1	0	1
L90	피부의 위축장애	0	1	1
M23	무릎의 내부장애	0	1	1
M24	기타 특정 관절장애	3	1	4
M32	전신홍반루푸스	0	1	1
M34	전신경화증	0	1	1
M51	기타 추간판장애	2	4	6
M65	윤행막염 및 힘줄윤행막염	2	1	3
M72	섬유모세포장애	0	1	1
M75	어깨병변	0	1	1
M76	발을 제외한 다리의 골부착부병증	0	1	1
M77	기타 골부착부병증	0	1	1

KCD	상병명	display	semiconductor	Total
M94	연골의 기타 장애	0	1	1
N18	만성 신장병	0	1	1
N97	여성불임	0	1	1
R06	호흡의 이상	0	1	1
R45	정서상태에 관련된 증상 및 징후	0	1	1
R56	달리 분류되지 않은 경련	0	1	1
R57	달리 분류되지 않은 쇼크	0	1	1
R96	원인 미상의 기타 돌연사	1	0	1
S00	머리의 표재성 손상	1	1	2
S01	머리의 열린상처	3	8	11
S02	두개골 및 안면골의 골절	7	12	19
S03	머리의 관절 및 인대의 탈구, 염좌 및 긴장	0	2	2
S05	눈 및 안와의 손상	2	2	4
S06	두개내손상	1	8	9
S09	머리의 기타 및 상세불명의 손상	1	2	3
S13	목부위의 관절 및 인대의 탈구, 염좌 및 긴장	1	12	13
S14	목부위의 신경 및 척수의 손상	0	2	2
S20	흉부의 표재성 손상	0	1	1
S22	늑골, 흉골 및 흉추의 골절	5	5	10
S23	흉곽의 관절 및 인대의 탈구, 염좌 및 긴장	1	1	2
S30	복부, 아래등 및 골반의 표재성 손상	1	0	1
S32	요추 및 골반의 골절	6	6	12
S33	요추 및 골반의 관절 및 인대의 탈구, 염좌 및 긴장	3	19	22
S40	어깨 및 위팔의 표재성 손상	0	1	1
S42	어깨 및 위팔의 골절	5	12	17
S43	견갑대의 관절 및 인대의 탈구, 염좌 및 긴장	1	6	7

KCD	상병명	display	semiconductor	Total
S44	어깨 및 위팔 부위의 신경의 손상	2	0	2
S46	어깨 및 위팔 부위의 근육 및 힘줄의 손상	2	0	2
S49	어깨 및 위팔의 기타 및 상세불명의 손상	0	1	1
S52	아래팔의 골절	6	6	12
S53	팔꿈치의 관절 및 인대의 탈구, 염좌 및 긴장	1	1	2
S54	아래팔 부위의 신경의 손상	0	1	1
S56	아래팔 부위의 근육 및 힘줄의 손상	0	1	1
S57	아래팔의 으깬손상	1	0	1
S60	손목 및 손의 표재성 손상	1	1	2
S61	손목 및 손의 열린상처	0	12	12
S62	손목 및 손부위의 골절	11	17	28
S63	손목 및 손부위의 관절 및 인대의 탈구, 염좌 및 긴장	3	6	9
S66	손목 및 손 부위의 근육 및 힘줄의 손상	5	6	11
S67	손목 및 손의 으깬손상	0	3	3
S68	손목 및 손의 외상성 절단	9	4	13
S70	엉덩이 및 대퇴의 표재성 손상	0	1	1
S72	대퇴골의 골절	4	1	5
S76	엉덩이 및 대퇴 부위의 근육 및 힘줄의 손상	0	3	3
S82	발목을 포함한 아래다리의 골절	11	42	53
S83	무릎의 관절 및 인대의 탈구, 염좌 및 긴장	10	45	55
S86	아래다리 부위의 근육 및 힘줄의 손상	15	29	44
S90	발목 및 발의 표재성 손상	0	3	3
S91	발목 및 발의 열린상처	1	2	3
S92	발목을 제외한 발의 골절	9	45	54
S93	발목 및 발 부위의 관절 및 인대의 탈구, 염좌 및 긴장	13	46	59

KCD	상병명	display	semiconductor	Total
S96	발목 및 발 부위의 근육 및 힘줄의 손상	0	2	2
S97	발목 및 발의 으깬손상	1	0	1
T14	상세불명의 신체부위의 손상	0	1	1
T18	소화관속의 이물	0	1	1
T20	머리 및 목의 화상 및 부식	1	1	2
T21	몸통의 화상 및 부식	1	0	1
T23	손목 및 손의 화상 및 부식	0	5	5
T25	발목 및 발의 화상 및 부식	0	1	1
T26	눈 및 부속기에 국한된 화상 및 부식	0	2	2
T30	상세불명 신체부위의 화상 및 부식	0	1	1
T31	포함된 신체표면의 정도에 따라 분류된 화상	0	4	4
T59	기타 가스, 연무 또는 물감의 독성효과	1	0	1
T71	질식	1	0	1
〈NA〉	〈NA〉	11	24	35
Total		183	514	697

3) 전자산업 산업재해 특성 분석

(1) 산업재해 특성 분석 자료 개요

- 반도체, 디스플레이 산업재해 특성 분석용으로 추출된 유지보수 업무 관련 194건 사건을 대상으로 사건 검토하였다.
- 산재 사건 개요를 정리하여 유사한 발생 시나리오를 추출하였다.

(2) 산업재해 특성 분석 : 정비 작업자 주요 산재 사건 고찰

가) 불산 유출 사고

대응 정비 작업 중 방독마스크 등 호흡보호구 미착용으로 화학물질 중독

사고 재해자는 OO공장 내 화학약품 공급 설비 유지보수 업무를 사내 협력업체 정비자였음. 전자산업 ##라인에서 불산 공급 설비 밸브가 낡아 발생한 불산 누출(leak) 현상을 확인하고 정비를 위해 동료4명과 함께 밸브 교체, 테스트, 작업 정리 중 누출된 불산 흡/증기에 노출됨. 작업 후 아침 가슴과 피부 통증 등이 발생함. 동료 4명 중1명 사망. 불화수소산 중독으로 판정. 방독마스크 등 호흡보호구 미착용, 정비 작업 가이드 제정 미흡, 비상 응급 처치 결함 등으로 발생한 사고임

시사점: 누출 사고를 유형화하여 유형별 대응 방안을 마련해야 함(대피, 작업 투여 인력, 보호 장비, 응급처치 등). 밸브 교체 주기 설정 등 예방 정비 강화 필요하다.

나) 불산 안면부 노출

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

재해자는 OO공장에서 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 재해자 눈 주위에 불산 노출됨.

시사점: 정비 작업 후 넘어지면서 주변 시설 파손, 화학물질 누출됨, 안면 보호 장비 미착용 등 사고 발생한다.

다) 협착 사고

사고 피해자는 회사 내 반도체 생산 라인 장비를 가동하던 중 웨이퍼 코팅 장비의 필름이 잘 벗겨지지 않아 손으로 필름을 제거하는 과정에서 롤러에 손이 끼임.

시사점: 끼임 사고를 유형화하고, 유형별 예방 방안 제시 필요하다. 사고가 자주 일어나는 공정과 작업 방식 등 파악하여 사고 사례 전파와 예방 매뉴얼 제공이 필요하다.

라) 작업자 소통 문제

전원 우발적 조작으로 인한 중대재해 발생: 전원 차단 작동 조치(LOTO) 결함

사고 재해자는 OO공장에서 전자산업 모듈 동 검사 공정에서 중간 전자제품 배출 리프트 설비 정비를 위해 공정을 수동 모드로 정지하고 포장 작업자에게는 정비작업을 알리고 설비를 정비함. 그러나 리프트 설비 임의 조작 금지 조치(LOTO)를 취하지 않은 상태였음. 정비 작업을 알지 못한 셀(Cell) 검사 근로자가 리프트 공정 설비를 자동모드로 임의 전환함으로써 리프트가 작동하여 재해자의 어깨, 등의 끼임 중대재해 발생함.

시사점: 근원적 전원 설비 작동을 차단하기 위한 전원 차단 작동 조치 취하지 않아 발생한 사고이다.

마) 센서 (sensing) 점검

전원 차단 작동 방지 조치 취하지 않아 신체 끼임 발생

사고 재해자는 전자산업 # 공정 라인에서 동료1명과 같이 장비 오류 대응정비 작업 중 센서(sensor) 감지 불량 확인을 위해 프로브 카드 홀더(Probe card holder) 안으로 손을 넣어 점검하던 중 척(chuck)이 움직이며 손바닥이 끼임.

시사점: 전원 설비 작동을 차단하지 않고 정비 작업 중 전원 작동으로 끼임 사고 발생. 모든 정비는 전원 작동을 차단하고 실행해야 한다.

바) 가스 질식

챔버 등 충분히 퍼지하지 않은 상태에서 정비 작업 중 질식함

사고 재해자는 전자산업 ** 공정 설비 기계 유지보수 정비를 수행함. 공정 설비 챔버 안 자동화 로봇의 사전 점검을 위해 진입 중 남아 있던 질소에 질식하여 사망함.

시사점: 정비 작업을 시작하기 전 챔버 등 정비 공간 내에 남아있는 가스 등 화학물질, 열 등을 완전히 제거해야 한다.

사) 재해자 구조 중 재해

챔버 안 재해자 구조할 때 호흡 보호구 착용하지 않아 질식함

사고 재해자는 전자산업 작업장에서 현장 점검 중 챔버 안에 쓰러진 협력 업체 작업자를 확인하고, 주변 작업자에게 상황을 전파한 후 개인보호구를 착용하지 않은 채로 챔버 안으로 들어가 쓰러진 근로자를 구조하다가 질소에 중독됨.

시사점: 챔버, 탱크 등 밀폐 공간 안에서 구조 등 응급상황을 조치하고자 할 때 호흡보호구 등 적절한 개인보호장치를 착용하고 대응해야 한다.

아) 정확한 소통 방식 부재

전원 차단 작동 방지 또는 예방 조치 미흡으로 신체 끼임 발생

사고 재해자는 전자산업 # 세정 설비에서 리프터 반송 기어와 커버 간섭 조치를 위해 2인 1조(1명 조작, 1명 설비) 작업 중 설비 조작자의 시야가 설비 구동부를 확보하지 못한 상태에서 잘못된 의사소통으로 사고 재해자가 설비 안에 있었는데도 구동부를 조작하여 사고 재해자의 흉부가 끼임. 전원 설비 작동을 차단하지 않고 정비 작업 중 전원 작동으로 끼임 사고 발생. 전원을 끄지 않은 상태에서 작업을 해야 한다면 철저한 의사소통, 안전 시야 확보 등 조치를 취해야 함

시사점: 전원 설비 작동을 차단하지 않고 정비 작업 중 전원 작동으로 끼임 사고 발생. 전원을 끄지 않은 상태에서 작업을 해야 한다면 철저한 의사소통, 안전 시야 확보 등 조치를 취해야 한다.

자) 화학물질 누출 조치 작업 중 황산 누출

대응 정비 작업 중 방독마스크 등 호흡보호구 미착용으로 화학물질 중독

사고 재해자는 전자산업 OO 사업장에 납품 설치한 장비 내부 화학물질 누출 정비 SOP 작업을 마련하기 위해 보호구 착용하지 않은 채로 설비 장비 내부로 들어가 사진 촬영 중 세정 노즐에서 황산액이 분출되어 재해를 입음. 방독마스크 등 호흡보호구 착용하지 않고 설비내로 들어가 재해를 입음.

시사점: 방독마스크 등 호흡보호구 착용하지 않고 설비내로 들어가 재해를 입음. 설비 안으로 들어가는 모든 근로자는 호흡보호구 등 적절한 개인보호구를 착용해야 한다.

차) 배관 교체 시 배관 내부의 화학물질 누출

정비 작업 중 화학물질 누출

사고 재해자는 전자산업 ** 공정 ** 펌프 모델 변경 작업 진행 중 배관 내부에서 액체 이물질이 사고 재해자의 눈으로 떨어져 신체 손상 받음

시사점: 정비 작업 중 액체 화학물질 누출로 눈 손상 받음. 배관 등 모든 정비 작업에서는 호흡기, 눈 등 신체를 보호하기 위한 개인 보호구 착용해야 한다.

카) 무리한 중량물 취급

정비 작업 중 중량물 취급으로 인한 근골격계 질환 발생

사고 재해자는 전자산업 ** 자동화 기계 셋업 중 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.

시사점: 정비 작업 중 중량물 해체, 운반, 이동 등에서 작업 반복, 작업 무리, 자세 불완전 등으로 근골격계 손상이 일어남. 인체공학적 작업 매뉴얼 등이 필요하다.

타) 작업 공정 숙지 미흡

전원 차단 작동 방지 또는 예방 조치 미흡으로 신체 끼임 발생

사고 재해자는 전자산업 # 세정 설비에서 리프터 반송 기어와 커버 간섭 조치를 위해 2인 1조(1명 조작, 1명 설비) 작업 중 설비 조작자의 시야가 설비 구동부를 확보하지 못한 상태에서 잘못된 의사소통으로 사고 재해자가 설비 안에 있었는데도 구동부를 조작하여 사고 재해자의 흉부가 끼임.

시사점: 전원 설비 작동을 차단하지 않고 정비 작업 중 전원 작동으로 끼임 사고 발생. 전원을 끄지 않은 상태에서 작업을 해야 한다면 철저한 의사소통, 안전 시야 확보 등 조치를 취해야 한다.

파) 정비 중 폐수 다량 노출

정비 작업 중 화학물질 노출

사고 재해자는 전자산업 ** 공정 ** 설비 정비 작업 중 설비 내 칼럼 기계 등을 스퍼너로 분해할 때 소량의 응축 화학물질이 누출되어 노출되어 신체 접촉 부위가 따끔거리는 재해 발생

시사점: 정비 작업 중 액체 화학물질 노출로 신체 손상 받음. 모든 정비 작업에서는 호흡기, 눈 등 신체를 보호하기 위한 개인 보호구 착용해야 한다.

5. 미국, 일본, 대만 반도체 등 전자산업 유해위험요인 관리 법적 규정 및 권고사항 고찰 및 쟁점

국내 외 산업 안전 및 보건에 관한 법적 규정은 국가별 안전보건 상황, 제정 기관 및 규제 기관 등의 차이로 구체적인 내용은 다를 수 있다. 우리나라 산업 안전보건법 및 시행령은 반도체 등 전자산업에만 별도로 적용하는 규정을 가지고 있지 않다. 이에 본 연구는 문헌 검색과 해외 전문가 자문 등을 통해서 해외 주요국가에 반도체 산업에 특화된 안전보건 규정 및 가이드 등이 있는지

조사해 보았다. 다만, 특화된 법적 규제가 없는 경우 행정기관의 지침, 고지 등으로 반도체 공정에 대한 위험을 알리고 있는 사례를 중심으로 정리했다.

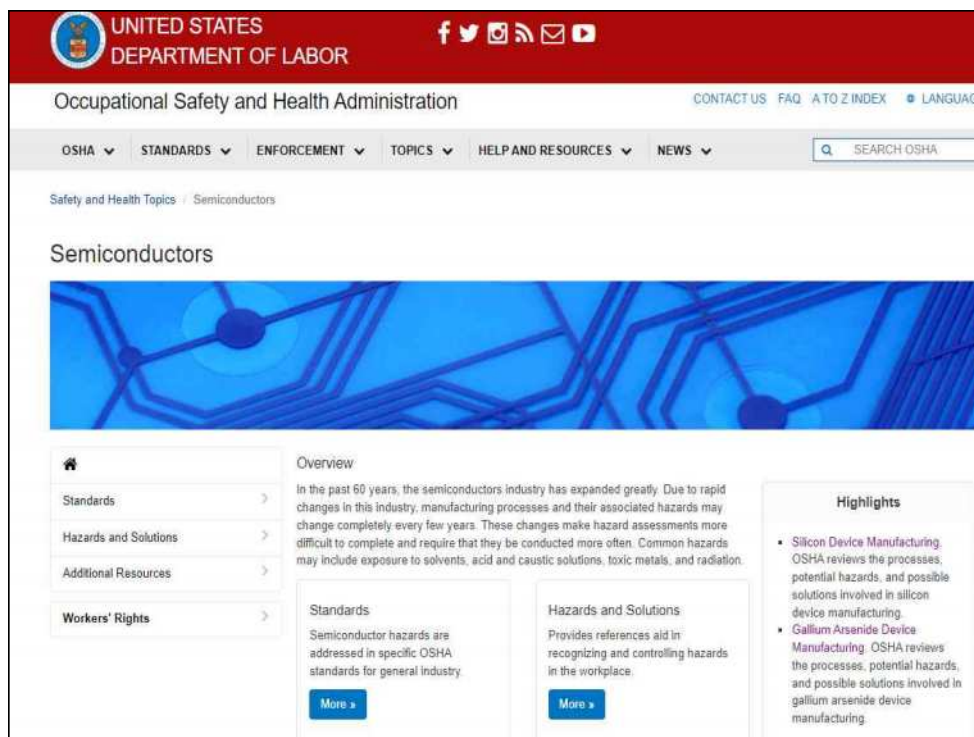
1) 미 국

(1) 연방법 내 반도체 관련 규정

미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration)의 연방법은 반도체 제조 공정에만 적용되는 특별조항을 가지고 있지 않다. 대신 미국산업안전보건청은 반도체 제조업을 포함한 일반 사업장(general industry)에 적용되는 법규(Title 29 of the Code of Federal Regulations (CFR, 이하 CFR로 한다), Part 1910)를 갖고 있다. 이 법규가 포함하고 있는 많은 세부 조항 중 일반 의무사항, 유해화학물질이나 개별 유해인자, 유해공정, 보호구, 유해위험기계기구 별로 반도체 공정에 적용 가능한 세부 법령은 아래와 같다. 이 중 밑줄 그어진 조항들은 미국산업안전보건청에서 반도체 공정에 주요하게 인용되는 법규로 강조한 조항들이다.

- 1910 Subpart G - Occupational Health and Environmental Control
 - 1910.94 - Ventilation
 - 1910.95 - Occupational noise exposure
 - 1910.97 - Nonionizing radiation
- 1910 Subpart H - Hazardous Materials
 - 1910.101 - Compressed gases (general requirements)
 - 1910.124 - General requirements for dipping and coating operations
 - 1910.109 - Explosives and blasting agents
- 1910 Subpart I - Personal Protective Equipment
 - 1910.132 - General requirements
 - 1910.134 - Respiratory protection

- 1910 Subpart J - General Environmental Controls
1910.146 - Permit-required confined spaces
- 1910 Subpart M - Compressed Gas and Compressed Air Equipment
- 1910 Subpart Z - Toxic and Hazardous Substances
1910.1018 - Inorganic arsenic
1910.1020 - Access to employee exposure and medical records
1910.1025 - Lead
1910.1096 - Ionizing radiation
1910.1200 - Hazard Communication



[그림 III-54] 반도체 공정에 대한 위험요인을 게시한 미국산업안전보건청 홈페이지
(<https://www.osha.gov/semiconductors>)

가) 미국산업안전보건청 홈페이지에서 소개하는 반도체 공정의 건강위험

반도체 산업은 지난 60년 동안 크게 확장되었고 급격한 변화로 인해 제조 공정과 관련 위험이 몇 년마다 완전히 바뀔 수 있다고 미국산업안전보건청은 홈페이지에서 이야기하고 있다. 이러한 변화로 인해 개별 위험성 평가를 제 때 완료하기가 더욱 어려워지고 더 자주 수행해야 한다고 강조하고 있다. 일반적인 위험으로는 용매, 산성 및 부식성 용액, 독성 금속 및 방사선에 대한 노출이 포함될 수 있으며, 미국산업안전보건청은 반도체 공정의 위험을 관리하기 위해 반도체 산업 안전보건 관련 주요 토픽으로서 아래의 항목들을 주목하고 있다.

- Arsenic (비소)
- Control of Hazardous Energy (Lockout/tag out)
- Dermal Exposure (피부노출)
- Ionizing Radiation (이온화 방사선)
- Machine Guarding (기계 방호장치)
- Non-Ionizing Radiation (비이온화 방사선)
- Personal Protective Equipment (개인보호구)
- Process Safety Management (공정안전관리)
- Respiratory Protection (호흡보호구)
- Sampling and Analysis (시료채취 및 분석)

나) 미국산업안전보건청 홈페이지에서 소개하는 공정별 유해인자 및 대책

한편 미국산업안전보건법(Occupational Safety and Health Act)은 반도체 공정에 적용되는 별도의 규정을 가지고 있지 않지만, 실리콘 소자와 갈륨비소 소자 제조와 관련된 반도체 공정의 잠재적 위험과 가능한 대책들을 검토하여 관련 정보를 비교적 상세하게 제공하고 있다. 특히 실리콘 소자 제조를 (1) 기판 제조, (2) Fab 공정, (3) Metalization, (4) Non-Fab 공정으로 구분하여 각 공정을 세부공정별로 나누어 소개하고 있다. 또한, 세부공정별 주요 유해인자 및 관련 법조항과 노출감소 대책들을 요약 설명하고 관련링크를

통해 상세하게 소개하고 있다. 예를 들어, Fab공정은 아래와 같이 세부공정으로 구분하여 세부공정별로 유해인자 및 노출 감소대책 등을 간단하게 설명하고 있다.³¹⁾

- Oxidation (산화)
- Cleaning (세척)
- Photoresist Application (포토레지스트 적용)
- Soft Bake
- Mask Alignment and Photo exposure (마스크 정렬 및 노광)
- Developing (현상)
- Hard Bake
- Etching (식각): 습식에칭, 건식에칭, 화학-플라즈마 에칭, 물리적 에칭
- Photoresist Stripping (포토레지스트 박리)
- Doping (Junction Formation) (도핑/접합 형성)
- Deposition (증착): 확산, 이온증착

갈륨비소 (Gallium Arsenide) 소자를 제조하는 반도체 공정은 (1) 잉곳 배양, (2) 웨이퍼 처리, (3) 에피택시(Epitaxy), (4) 소자 제조로 크게 구분하며 실리콘 소자와 마찬가지로 각 공정을 세부공정별로 나누어 소개하고 있다³²⁾. 또한, 세부공정별로 주요 유해인자 및 관련 법조항, 노출감소 대책을 요약 설명하면서 관련 링크를 제시하여 해당 정보를 상세하게 알리고 있다. 특히 갈륨비소 소자는 원소형태의 갈륨, 비소와 소량의 도핑 물질(실리콘, 텔루륨 또는 크롬)을 고온에서 반응시켜 단결정 갈륨비소 잉곳(ingot)을 만든다. 갈륨비소 소자를 제조하는 과정에서도 비소 노출이 주요 건강상의 위험이 되므로 비소에 대한 노출관리에 대해서 아래와 같이 상세하게 소개하고 있다³³⁾.

31) <https://www.osha.gov/semiconductors/silicon>

32) <https://www.osha.gov/semiconductors/gallium-arsenide>

33) <https://www.osha.gov/semiconductors/solutions/arsenic>

비소(arsenic)

- 비소 노출 가능 작업:
 - 계량 및 이송 작업
 - 유지보수 작업 (비소 함유 물질이 펌프 오일, 질소 트랩, 오일 버블러(oil bubbler), 화로 또는 환기시설의 덕트 라인에 축적될 수 있다.)
 - 앰플(ampoule)의 폭발/내팽근으로 인한 발생
 - 크리스탈 배양기 청소작업
 - 앰플(ampoule) 파쇄 작업
 - 글러브 박스 (glove box) 시스템에 로딩, 언로딩 또는 글러브 박스 고장 시
 - 반응기에 로딩, 언로딩
 - 백래핑(backlapping) 작업
- 비소의 건강영향: 유기 비소 화합물에 대한 급성 노출은 섭취로 인해 입술 화상, 인후 협착, 복부통, 급성 기도 자극, 구토, 설사, 경련, 혼수, 사망 등의 증상을 일으킬 수 있다. 흡입 노출로 인해 호흡기관, 피부 및 눈의 자극이 발생할 수 있다. 유기 비소 화합물에 대한 만성 노출은 피부염, 빈혈, 백혈구감소증 또는 여러 종류의 암과 관련된 효과가 발생할 수 있다.
- 가능한 해결책:
 - 비소 위험을 식별하고 적절한 노출 평가를 수행
 - 작업환경 측정 실시
 - 29 CFR 1910.1000 표 Z-1의 유기비소 화합물에 대한 허용 노출기준 참조
 - 29 CFR 1910.1018 무기비소에 대한 허용노출 기준 및 규정 요건 참조
 - 피부 노출에 대한 조치
 - 공기 중의 비소 농도 수준을 낮추기 위한 적절한 환기시설 가동. 로딩 작업 중 국소배기장치는 라미나 플로우 후드 (laminar flow hood) 를 사용
 - 비소를 제거하고 농도 수준을 줄이기 위해 적절한 청소를 실시
 - 노출을 줄이기 위해 적절한 개인보호구 제공
 - 노출을 더욱 줄이고 작업자를 보호하기 위해 필요한 경우 호흡보호구를 사용 [29 CFR 1910.134]
 - 노출을 예방하고 최소화하기 위한 적절한 유지 관리 절차와 작업 방법 시행
 - 유지 보수 및 기타 관련 직원에 대한 적절한 교육 제공
- 추가정보
 - 화학물질 노출에 대한 지침: 미국 보건 복지부(Department of Health and Human Services, DHHS)와 국립직업안전보건 연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) 출판물 #81-123³⁴⁾은 다양한 유해

화학 물질에 대한 지침을 제공함. 이 파일들은 화학 및 물리적 특성, 건강 영향, 노출 한도, 의료 모니터링, 개인 보호 장비(PPE) 및 통제 절차에 대한 기술적인 화학 정보를 제공함.

(2) State Plan (주 계획) 내 반도체 관련 규정

미국의 각 주는 관할 구역 내에서 사업을 운영하는 고용주에게 적용하는 별도의 산업 안전 및 보건 규정을 가질 수 있다. 이것을 State Plan(주 계획)이라고 하며, 연방정부 산업안전보건청의 검토 및 승인을 얻어 자체 실행한다. 현재 29개의 주 계획이 승인을 얻어 사용되고 있으며, 각 각의 주 계획은 최소한 연방규정 수준의 표준이나 시행 프로그램을 갖추고 있으며, 때론 연방규정이 가지고 있지 않은 규정을 가지고 있거나 연방규정보다 더 엄격한 수준을 요구할 수 있다.



[그림 III-55] 자체 State Plan(주 계획)을 가지고 있는 29개 주(*, ** 표시)³⁵⁾

34) <https://www.cdc.gov/niosh/docs/81-123/>

이에 일부 주에서는 반도체 제조 작업에 적용되는 별도 규정이 있을 수 있어 연방 정부에서 승인을 얻은 주 계획들과 과거 법령자료를 리뷰한 결과, 오하이오와 텍사스 주 등이 반도체 관련한 행정규칙을 가지고 있었다.

하지만 오하이오의 행정규칙, Administrative Code 1301:7-7-18 "Semiconductor Fabrication Facilities"는 그림 III-3과 같이 2017년 12월 15일자로 폐지되었다. 폐지된 행정규칙은 일반적인 안전요구사항, 화재 등 응급 대응 시설에 관한 사항, 유해화학물질의 사용과 보관에 관한 사항, 환기시설에 관한 사항, 유해화학물질 운송과 처리에 관한 사항들을 비교적 상세하게 다루고 있었으나 반도체 장비의 정비와 관련된 구체항목은 없었다. 다만 일부 조항에 “결함이 있는 용기, 실린더 및 탱크는 운용 중지되어야 하며, 승인된 방법으로 수리되거나 처분되어야 한다. 결함이 있는 장비나 기계는 운용 중지되어야 하며, 수리되거나 교체되어야 한다. 필요한 탐지 및 경보 시스템은 결함이 있는 경우 교체되거나 수리되어야 한다.” 등 비상시 즉각적인 대응정비를 요구하는 조항이 있었다. 오하이오 주의 이 규칙은 2017년 폐지된 이후 대체 법령은 아직까지 제정되지 않은 상태다. 또한 오하이오 주는 현재 별도의 주 계획을 가지고 있지 않으며 연방법인 Title 29 of the Code of Federal Regulations을 따르고 있다.

Ohio Admin. Code 1301:7-7-18

Section 1301:7-7-18 - [Rescinded] Semiconductor fabrication facilities

Ohio Admin. Code 1301:7-7-18

Effective: 12/15/2017

Five Year Review (FYR) Dates: 9/29/2017

Promulgated Under: 119.03

Statutory Authority: 3737.22(A), 3737.82, 3737.83

Rule Amplifies: 3737.22(A), 3737.82, 3737.83

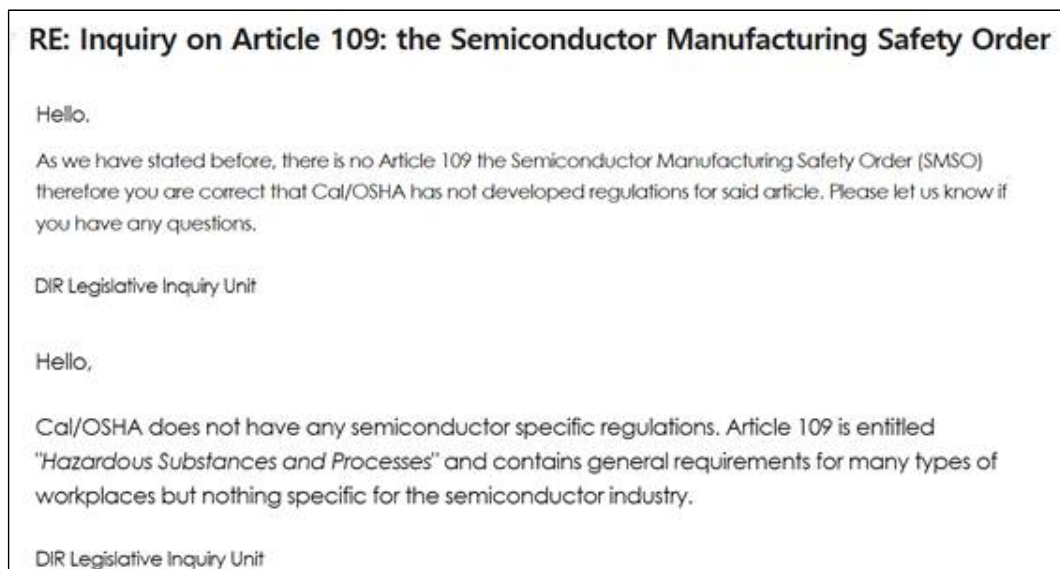
Prior Effective Dates: 07/01/1979, 06/01/1985, 06/15/1992, 07/01/1993, 09/01/1995, 03/30/1998, 01/03/2000, 09/01/2005, 07/01/2007, 11/01/2011

35) <https://www.osha.gov/stateplans/>

**[그림 III-56] 2017년 폐지된 오하이오 주의 Administrative Code 1301:7-7-18
"Semiconductor Fabrication Facilities"³⁶⁾**

텍사스 주에도 행정규칙, 30 Texas. Admin. Code § 106.225, "Semiconductor manufacturing"이 있으나, 이는 반도체 제조공정에서 배출되는 대기오염물질 배출량에 관련한 규정으로 반도체 장비의 정비에 관한 내용과는 상관이 없었다.

그 외 반도체 사업장이 많은 캘리포니아, 오레곤 등 주 담당자에게 이메일을 통해 문의한 결과, 현재 별도의 규정을 제정해서 사용하는 주는 찾아볼 수 없었다.



**[그림 III-57] 반도체 공정 관련 규정의 유무에 대한 캘리포니아 주정부 관련 부서
(Director of Legislative and Regulatory Affairs)의 답변**

36) <https://casetext.com/regulation/ohio-administrative-code/title-13017-division-of-state-fire-marshal/chapter-13017-7-ohio-fire-code/section-13017-7-18-rescinded-semiconductor-fabrication-facilities>

Thank you for contacting [Oregon OSHA](#).

QUESTION / INQUIRY:

"I'd like to inquire whether or not Oregon OSHA has developed a specific regulation or guide to control safety and health hazards for semiconductor industry."

ANSWER:

No, Oregon OSHA does not have specific workplace safety and health rules or guidelines just for the semiconductor industry. Such an industry is associated with many required safety and health programs, and employers must follow the applicable General Industry Rules in [Division 2](#), and [Division 1](#), General Administrative Rules.

[그림 III-58] 반도체 공정 관련 규정의 유무에 대한 오레곤 주 OSHA의 답변

(3) 국가 공인 표준(National Consensus Standard)

미국산업안전보건청은 별도의 반도체 규정을 가지고 있지 않지만, 반도체 공정의 위험과 공정의 안전보건관리를 위해 SEMI(Semiconductor Equipment and Materials International, 국제 반도체 장비 및 재료 협회, 이하 SEMI라 한다)와 미국소방안전협회(National Fire Protection Association, NFPA)의 표준을 국가공인표준(National Consensus Standard)으로 인정하고 있다. SEMI는 전자제품 제조 및 설계 공급망을 대표하는 글로벌 산업 협회로, 반도체 산업 종사자의 안전과 건강을 보장하기 위해 많은 장비 및 장치, 환경안전보건, 화재 등과 관련된 표준을 개발해서 보급하고 있다. 이에 미국산업안전보건청은 SEMI와 미국소방안전협회(NFPA)의 표준을 따르도록 홈페이지를 통해 공식적으로 권고하고 있다. 현재 미국산업안전보건청에서 권고하고 있는 SEMI와 미국소방안전협회(NFPA)의 표준은 아래와 같으며 해외의 많은 반도체 제조업체 및 반도체장비 제조사는 SEMI의 표준을 주요 지침으로 따르고 있다.

가) SEMI(국제 반도체 장비 및 재료 협회)

- SEMI S1-0708E Safety Guideline for Equipment Safety Labels
- SEMI S2-0712b Environmental, Health, and Safety Guideline for Semiconductor Manufacturing Equipment

- SEMI S3-1211 Safety Guideline for Process Liquid Heating Systems
- SEMI S4-0304 Safety Guideline for the Separation of Chemical Cylinders Contained in Dispensing Cabinets
- SEMI S5-0310 Safety Guideline for Sizing and Identifying Flow Limiting Devices for Gas Cylinder Valves
- SEMI S6-0707E EHS Guideline for Exhaust Ventilation of Semiconductor Manufacturing Equipment
- SEMI S7-0310 Safety Guideline for Evaluating Personnel and Evaluating Company Qualifications
- SEMI S8-0712a Safety Guidelines for Ergonomics Engineering of Semiconductor Manufacturing Equipment
- SEMI S10-0307E Safety Guideline for Risk Assessment and Risk Evaluation Process
- SEMI S12-0211 Environmental, Health and Safety Guideline for Manufacturing Equipment Decontamination
- SEMI S13-0113 Environmental, Health and Safety Guideline for Documents Provided to the Equipment User...
- SEMI S14-0309 Safety Guidelines for Fire Risk Assessment and Mitigation for Semiconductor Manufacturing Equipment Facilities
- SEMI F1-0812 Specification for Leak Integrity of High-Purity Gas Piping Systems and Components
- SEMI F4-0211 Specification for Pneumatically Actuated Cylinder Valves
- SEMI F5-1101 Guide for Gaseous Effluent Handling
- SEMI F6-92 Guide for Secondary Containment of Hazardous

Gas Piping Systems

- SEMI E16-0611 Guideline for Determining and Describing Mass Flow Controller Leak Rates
- SEMI E17-1011 Guide for Mass Flow Controller Transient Characteristics Tests
- SEMI E51-0200 Guide for Typical Facilities Services and Termination Matrix
- SEMI E129-0912 Guide to Assess and Control Electrostatic Charge in a Semiconductor Manufacturing Facility

나) 미국소방안전협회 (NFPA)

318, Standard for the Protection of Semiconductor Fabrication Facilities. (2009).

2) 대 만

대만은 1974년에 제정된 노동안전보건법을 2013년에 산업안전보건법으로 개정해 모든 산업의 안전보건을 규제하고 있다. 대만의 한 전문가에 의하면, 대만 산업안전보건청은 반도체산업에 별도 적용되는 안전보건 관련 규정을 제정한 적이 없다고 한다(아래 박스 참조). 또한 대만 반도체산업협회(Taiwan Semiconductor Industry Association, TSIA)는 대만 반도체산업이 경쟁력을 유지할 수 있도록 돕는 것을 목표로 하고 있지만, 반도체 공정에 사용될 수 있는 산업안전 및 보건에 대한 자체 지침을 개발한 적이 없다.

한편, 대표적인 대만 반도체 기업인 TSMC³⁷⁾는 공정과 기기 안전을 위해 미국 OSHA가 권고한 SEMI(Semiconductor Equipment and Materials

37) Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, Ltd. (TSMC)

TSMC는 대만 신주(Hsinchu)에 본사를 두고 있다. 대만 경제에서 중요한 부분을 차지하고 있다. 대만 외에도 중국 본토, 싱가포르, 미국에도 제조 시설을 보유하고 있다. TSMC는 세계 최대의 독립 반도체 전용 파운드리(foundry)로, 반도체 칩을 설계하지만 제조 시설이 없는 다른 회사를 위해 반도체 칩을 제조합니다. TSMC는 반도체의 설계 디자인을 전문으로 하는 기업으로부터 제조를 위탁받아 반도체를 생산한다. 즉, 반도체 칩을 설계하지만 제조 시설이 없는 다른 회사에게 반도체 칩을 제조해서 공급한다.

International) 표준을 따르고 있다. TSMC(Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, Ltd.)는 필요한 경우 SEMI 표준을 공정 특성에 맞게 일부 수정을 해서 사용하고 있는 것으로 알려져 있다(아래 박스 참조). TSMC는 국제표준화기구(International Organization for Standardization, ISO)와 SEMI에서 발행한 표준들과 같은 공인 안전 표준을 따르고 있다고 알려져 있다.

Perng-Jy (PJ) Tsai 명예교수, 대만 National Cheng Kung University
환경직업보건학과에서 온 메일

In Taiwan we had Labor Safety and Health Act in 1974, and revised as Occupational Safety and Health Act in 2013. In fact, Taiwan OSHA didn't enact "Regulations for the Management of Occupational Safety and Health in the Semiconductor Industry", I believe it is regulated by US OSHA.

The Taiwan Semiconductor Industry Association (TSIA) didn't develop its own set of guidelines for occupational safety and health in the semiconductor industry. However, TSIA aims to help the industry in Taiwan to remain competitive. and hence ESH plays some role there.

Regarding SEMI, TSMC follows it for instrumental safety. For operation, including MOC, TSMC might do some modifications if necessary.

**[그림 III-59] 반도체 공정 관련 규정의 유무에 대한 Perng-Jy (PJ) Tsai 명예교수
(대만 National Cheng Kung University 환경직업보건학과)의 메일**

3) 일 본

일본에서는 후생노동성(Ministry of Health, Labour, and Welfare)이 반도체 산업을 포함한 모든 산업의 근로자 안전과 건강을 보장할 책임이 있다. 노동안전위생법³⁸⁾ (Industrial Safety and Health Law)은 이러한 분야를 규제하는 주요 규정이다. 이 법은 모든 산업에 광범위하게 적용되지만, 반도체

체 산업과 특히 관련이 있을 수 있는 특정 지침을 제정하였다. 특정 지침은 위험물질 취급, 보호장비 사용, 반도체 제조에서 흔히 발생하는 기타 위험 관리에 대한 권고사항 등을 포함하고 있다. 이는 법적 강제사항은 아니고 권고사항이지만 보통 기업에서 관습적으로 준수하는 사항들이다.

(1) 반도체 공정 안전보건 대책 지침

후생성 산하 노동성은 반도체 제조 공정에 적용하는 “반도체 제조 공정의 안전보건 대책 지침(半導体製造工程における安全衛生対策指針について)을 1980년대 개발했다. 일본 산업안전보건협회(JISHA, The Japan Industrial Safety and Health Association)³⁹⁾가 이 지침을 운영하고 있다. 당시 이 지침을 마련한 근거는 아래와 같다.

- 반도체 제조 공정의 안전보건 대책을 추진하기 위해 1986년 7월에 웨이퍼 등 제조 공정 또는 웨이퍼 가공 공정을 갖춘 사업장을 대상으로 감독 지도를 실시함.
- 1985년부터 2년에 걸쳐 반도체 제조 공정에서 사용되는 가스 등의 유해성 및 사용실태에 대한 조사를 실시한 결과, 반도체용 가스의 누설, 산·알칼리의 비산, 유기 용제 노출 등의 재해가 보고되어 반도체 제조 공정에서의 산업재해 예방대책을 철저히 하기 위해 상기 조사 결과 등을 바탕으로 이 지침을 제정함.

본 연구에서는 “반도체 제조 공정의 안전보건 대책 지침”⁴⁰⁾ 원문을 아래에 번역수록 하였다. 이 지침은 노동성에서 만들어 도도부현 노동기준국장에게 지침을 보급 통달하고, 관련업계 단체에게 지침 준수를 요청한 사항이다.

38) <https://www.jaish.gr.jp/anzen/hor/hombun/hor1-1/hor1-1-1-m-0.htm>

39) 일본 산업안전보건협회(JISHA)는 일본 전역의 산업에서 근로자의 안전과 건강을 증진하는 데 전념하는 기관으로 1964년에 설립되었고 도쿄에 본부가 있다. 산업재해를 예방하고 근로자의 건강을 증진하기 위해 다양한 활동을 펼치고 있다. 일본 후생노동성(Ministry of Health, Labour and Welfare)의 감독 하에 운영되며 일본의 산업 안전 및 보건을 발전시키는 데 중요한 역할을 하고 있다

40) <https://www.jaish.gr.jp/anzen/hor/hombun/hor1-29/hor1-29-40-1-0.htm>

일본에서 통지, 통달(이 지침은 통달에 해당되는 지침)은 법적 구속력은 없으나 반드시 지켜야 할 규칙이라는 것이 일반적 통념이다.

○ 본 연구에서 이 지침을 고찰한 결과, 주요 안전사항은 주로 반도체 공정, 시설, 부품, 재료가 갖고 있는 위험을 전반적으로 관리하기 위한 내용으로 구성되어 있다. 특정 공정(CVD, 증착 등)에 대한 안전보건사항이 있지만 특정 공정이나 설비에서 이루어지는 정비 직무 절차 등 구체적인 안전보건사항이 들어 있는 것은 아니다.

〈반도체 제조 공정 안전보건 대책 지침 전문〉

제1조 목적

이 지침은 반도체 제조설비가 갖추어야 할 기준, 재료, 용기 등의 취급 작업과 유지보수 작업 등의 기준, 긴급시 대응 등의 기본 사항을 제시함으로써 반도체 제조 공정에서 기계설비의 본질안전화 추진, 점검체계의 확립, 작업관리의 철저 등을 도모하여 산업재해 예방에 기여하는 것을 목적으로 한다.

제2조 본 지침의 대상인 반도체 제조 공정 및 반도체용가스 등

- 1 '반도체 제조 공정'이란 IC(집적회로) 제조 공정의 칩 제조 공정 중 적층성장(Epitaxial Growth), 산화, 사진식각공정(photolithography), 에칭, 불순물 확산, 이온주입, CVD(Chemical Vapor Deposition) 및 증착·스퍼터 공정을 말한다.
- 2 '반도체용가스'란 반도체 제조 공정에서 사용되는 가스 중 별표 1부터 3(별표 1(1-1)(1-2)), 별표 2((2-1)(2-2)(2-3)(2-4)), 별표 3)에 열거된 가스를 말한다.
- 3 '특수재료가스'란 반도체용 가스 중 주로 반도체 디바이스의 재료로 사용되는 가스로서 별표 1부터 2(별표 1(1-1)(1-2), 별표 2(2-1)(2-2)(2-3)(2-4))에 열거된 가스 중 번호에 ◎표시를 붙인 것을 말한다.
- 4 '특수재료가스 등'이란 '특수재료가스'외에 별표 2(별표 2(2-1)(2-2)(2-3)(2-4))에 열거된 가스 중 번호에 ○표시를 붙인 것을 말한다.

제3조 각종 설비의 요건

- 1 가스 공급 설비
 - (1) 반도체용 가스가 흐르는 밸브, 배관 등의 설비

- 가. 바이패스밸브가 작동함으로써 유해한 가스, 증기 등이 작업환경으로 배출되는 것을 방지하기 위해 밸브, 배관 또는 장치에 설치하는 바이패스 밸브는 배기가스 계통의 배관 또는 덕트에 연결할 것
- 나. 배관은 점검과 유지보수가 용이하게 이루어질 수 있는 배치로 할 것
- 다. 배관에는 가스의 종류와 흐름방향을 표시할 것
- (2) 특수재료가스가 흐르는 밸브, 배관 등의 설비
 - 가. 자연발화성 가스 또는 가연성 가스가 흐르는 배관, 밸브, 접합부품류, 압력조정기와 이들 설비에 근접한 부분은 불연성 재료를 사용할 것
 - 나. 부식성 가스의 용기에 사용하는 가스켓 류는 내식성 재료를 사용할 것
 - 다. 부식성 가스가 흐르는 배관은 내식성 재료를 사용할 것
 - 라. 부식성 가스가 흐르는 밸브, 접합부 및 압력조정기는 본체와 그 구성부분인 너트, 필터, 다이어프램 등의 부품 재료가 내식성을 갖거나 표면이 내식 처리가 된 것으로 할 것
 - 마. 배관, 밸브 등의 가스공급설비는 질소가스 등의 불활성 가스로 퍼지 할 수 있는 구조로 할 것
 - 바. 배관, 밸브, 피팅류 등은 접합부분을 최소화할 것
 - 사. 가스누설 점검이 불가능한 장소의 배관은 용접이나 이음매로 접합하지 않을 것
 - 아. 특수재료가스의 유량, 압력 등을 파악하기 위해 필요한 유량계, 압력계 등의 계측 장치를 적절한 위치에 설치할 것
- (3) 특수재료가스의 용기
 - 가. 가스 용기는 전용 용기 수납함 내에 설치할 것
 - 나. 용기 수납함의 재질과 구조 등은 다음 각 호에 따를 것
 - (가) 가스용기 내의 가스가 자연발화성 또는 가연성인 경우에는 불연성 재료를 사용할 것. 또한 가스용기 내의 가스가 부식성인 경우에는 내식성 재료를 사용할 것
 - (나) 용기 수납함 내부는 항상 배기가 되도록 하여 부압이 유지되도록 할 것. 또한 외부와의 압력차가 일정 값 이하로 떨어진 경우에 작동하는 경보기 등을 설치할 것
 - (다) 용기 수납함 내의 가스 누설 감지를 위해서 사용하는 가스에 맞는 가스감지경보기를 설치할 것
 - 다. 가스용기의 주 밸브에 근접한 위치에 긴급차단밸브 또는 긴급차단장치(자연발화성 또는 가연성 가스의 경우에는 방폭구조의 장치로 제한한다)를 설치할 것
- (4) 반도체용가스 용기의 저장
 - 가. 용기의 저장설비의 주요 구조부분은 불연성(자연발화성 또는 가연성 이외의 가스

의 경우는 제외한다)의 재료를 사용할 것

나. 용기는 환기가 잘되는 장소에 저장할 것

다. 용기는 충전용기와 잔류 가스용기를 구분하여 저장할 것

라. 접촉이나 혼합에 의해 반응하여 위험 또는 유해한 가스, 증기 등을 발생시킬 우려가 있는 가스의 용기를 저장하는 경우에는 각각 구획된 장소에 저장할 것

2 클린룸

(1) 환기계통

클린룸의 공기 순환은 특수재료가스 등의 용기를 설치하는 장소의 배기 계통과는 다른 별도의 계통으로 할 것

(2) 비상구 확보

클린룸에는 일반 출입구 외에 긴급 시에 신속하게 안전한 장소로 대피할 수 있는 비상구를 설치할 것 또한, 비상구를 포함한 피난경로는 사전에 근로자에게 주지시키고 근로자가 알아보기 쉬운 곳에 표시할 것

(3) 환기 횟수

클린룸은 유해한 가스, 증기 등이 축적되지 않도록 필요한 양의 신선한 공기를 유입하여 적절한 환기횟수를 유지할 것

3 각 공정별 설비

(1) 적층성장 공정

가. 장치의 가스배관은 가스 치환용 질소가스 등 불활성 가스의 도입구를 설치하거나 진공배기가 가능한 구조로 할 것

나. 반응 챔버에는 대기에 개방되었을 때에 특수재료가스 등의 유입을 차단하기 위한 인터락 기구를 갖출 것

다. 감압공정에는 정전 시에 장치를 안전하게 정지시키기 위해 배관의 필요 부위에 항상 닫힘 밸브를 설치할 것. 또한, 이상 발생 시에 즉시 장치를 안전하게 정지시킬 수 있는 비상정지용 버튼을 구비할 것

라. 웨이퍼 출납구 등 유해한 가스, 증기 등이 발생할 수 있는 곳에는 국소배기장치를 설치할 것

마. 장치의 가스배관, 덕트 등은 반응 생성물을 쉽게 제거할 수 있는 구조로 할 것

(2) 사진식각 공정

웨이퍼의 출납구 등 유기 용제의 증기가 발생할 수 있는 곳에는 국소배기장치를 설치할 것

(3) 드라이 에칭 공정

가. 장치의 가스 배관은 가스 치환용 질소가스 등의 불활성 가스의 도입구를 설치하거

나 진공배기가 가능한 구조로 할 것

나. 반응 챔버는 대기에 개방되었을 때에, 특수재료가스 등의 유입을 차단하기 위한 인터락 기구를 갖출 것

다. 감압공정에서는 정전 시에 장치를 안전하게 정지시키기 위해 배관의 필요 부위에 항상 닫힘 밸브를 설치할 것. 또한, 이상 발생 시에 즉시 장치를 안전하게 정지시킬 수 있는 비상정지용 버튼을 구비할 것

라. 웨이퍼 출납구 등 유해한 가스, 증기 등이 발생할 수 있는 곳에는 국소배기장치를 설치할 것

마. 접촉에 의한 감전의 우려가 있는 부분은 감전 방지를 위하여 방호울 또는 절연덮개를 설치할 것. 단, 사용 목적에 따라 노출이 불가피한 충전부분과 관련된 작업은 절연용 보호구를 착용하는 등 감전 방지 조치를 강구할 것

바. 고전압 또는 고주파 회로

(가) 고주파 전원이 있는 장치는 문 등을 열었을 때에 전원이 꺼지도록 인터락 기구를 갖출 것

(나) 플라즈마 발생실, 반응 챔버 등은 대기에 개방되었을 때에 고주파 발생을 차단하기 위한 인터락 기구를 갖출 것

(다) 고주파 인가전극의 냉각수 배관은 접지 전위(어스)의 경로를 통해서 차폐판의 외부로 나오도록 할 것

(라) 장치의 전기 회로에 고압 콘덴서가 있는 경우에는 고압 콘덴서의 전하를 방전시키기 위한 단락봉을 설치할 것

(4) 불순물 확산 공정

웨이퍼 출납구 등 유해가스, 증기 등이 발생될 수 있는 곳에는 국소배기장치를 설치할 것

(5) 이온 주입 공정

가. 장치의 가스 배관은 가스 치환용 질소가스 등 불활성 가스 도입구를 설치하거나 진공 배기가 가능한 구조로 할 것

나. 반응 챔버는 대기에 개방되었을 때, 특수재료가스 등의 유입을 차단하기 위한 인터락 기구를 갖출 것

다. 감압공정에는 정전 시에 장치를 안전하게 정지시키기 위해 배관의 필요 부위에 항상 닫힘 밸브를 설치할 것. 또한, 이상 발생 시에 즉시 장치를 안전하게 정지시킬 수 있는 비상정지용 버튼을 구비할 것

라. 접촉에 의한 감전의 우려가 있는 부분은 감전 방지를 위하여 방호울 또는 절연덮개를 설치할 것. 단, 사용 목적에 따라 노출이 불가피한 충전부분과 관련된 작업은

절연용 보호구를 착용하는 등 감전 방지 조치를 강구할 것

마. X선 발생 장치에는 X선을 차폐할 수 있는 덮개를 설치할 것

바. 고전압 또는 고주파 회로

(가) 고주파 전원이 있는 장치는 문 등을 열었을 때에 전원이 꺼지도록 인터락 기구를 갖출 것

(나) 고주파 전원 인가전극의 냉각수 배관은 접지 전위(어스)의 경로를 통해서 차폐판의 외부로 나오도록 할 것

(다) 장치의 전기 회로에 고압 콘덴서가 있는 경우에는 고압 콘덴서의 전하를 방전시키기 위한 단락봉을 설치할 것

(6) CVD 공정

가. 장치의 가스 배관은 가스 치환용 질소가스 등 불활성 가스 도입구를 설치하거나 진공 배기가 가능한 구조로 할 것

나. 감압 CVD 장치의 반응 챔버는 대기에 개방되었을 때에 특수재료가스 등의 유입을 차단하기 위한 인터락 기구를 갖출 것

다. 감압공정에는 정전 시에 장치를 안전하게 정지시키기 위하여 배관의 필요 부위에 항상 닫힘 밸브를 설치할 것. 또한, 이상 발생 시에 즉시 장치를 안전하게 정지시킬 수 있는 비상정지용 버튼을 구비할 것

라 웨이퍼 입출구 등 유해한 가스, 증기 등이 발생할 수 있는 곳에는 국소배기장치를 설치할 것

마. 장치의 가스배관, 덕트 등은 반응 생성물을 쉽게 제거할 수 있는 구조로 할 것

(7) 증착, 스퍼터 공정

가. X선 발생 장치에는 X선을 차폐할 수 있는 덮개를 설치할 것

나. 고전압 또는 고주파 회로

(가) 고주파 전원이 있는 장치는 문 등을 열었을 때에 전원이 꺼지는 인터락 기구를 갖출 것

(나) 플라즈마 발생실, 반응 챔버 등은 대기에 개방되었을 때에 고주파 발생을 차단하기 위한 인터락 기구를 갖출 것

(다) 고주파 인가전극의 냉각수 배관은 접지 전위(어스)의 경로를 통해서 차폐판의 외부로 나오도록 할 것

(라) 장치의 전기 회로에 고압 콘덴서가 있는 경우에는 고압 콘덴서의 전하를 방전시키기 위한 단락봉을 설치할 것

4 배기가스 처리 장치

(1) 배기가스 처리장치의 선정은 처리 대상 가스의 종류, 농도, 유량, 압력, 설비의

처리능력, 유해 처리제의 수명, 전후 장치와의 관계 등의 제반조건을 고려하여 적절한 처리방식과 설비를 선정할 것

- (2) 혼합에 의해 폭발, 화재의 위험이 있는 가스 또는 유해 물질이 생성될 우려가 있는 가스의 처리는 별도의 계통으로 할 것
- (3) 자연발화성 가스 또는 가연성 가스가 공급될 우려가 있는 배기 덕트는 불연성 재료를 사용할 것
- (4) 장치의 사양에서 규정한 가스 이외의 가스를 공급하거나 처리 능력 이상의 다량의 가스를 공급하지 않을 것

5 진공 장치

유해한 가스, 증기 등을 사용하거나 발생시키는 장치에 연결된 진공펌프의 배기시스템에는 질소가스 등의 불활성 가스 도입구를 설치할 것

제4조 재료, 용기 등의 취급 작업 등

1 산, 알칼리 및 유기 용제의 취급

- (1) 산, 알칼리 및 유기 용제(이하 '산 등'이라 한다.)를 취급하는 경우, 이들 증기, 미스트 등이 발생되거나 비말이 될 우려가 있는 작업은 드래프트 챔버형, 부스형 후드 등의 울타리식 후드 안에서 실시할 것
 드래프트 챔버형, 부스형 후드 등 울타리식 후드의 설치가 어려운 경우에는 외장형 식 후드의 국소배기장치가 설치된 장소에서 실시할 것
- (2) 산 등의 용기 또는 공급용 밸브에는 라벨 등을 이용하여 물질명 등을 표시하고, 사용 시에는 이러한 라벨 등을 통해 물질명 등을 확인할 것
- (3) 혼합에 의해 발포하여 비산하거나 유해한 가스, 증기 등을 발생시킬 수 있는 경우에는 같은 장소에서 동시에 사용하지 않을 것. 단, 사용하는 용기의 형태 또는 색상을 바꾸는 등 식별하기 쉽도록 한 경우에는 예외로 함
- (4) 산 등을 폐기하는 경우에는 폐기구, 폐기통 등을 정하여 그곳에 폐기할 것

2 특수재료가스 등의 용기 교체 작업

- (1) 용기를 교환하는 경우에는 국소배기장치를 적정하게 가동시킬 것
- (2) 용기를 교환한 경우에는 질소가스 등의 불활성 가스로 배관 내부를 치환할 것
- (3) 용기를 교환한 경우에는 압력조정기 등의 용기 연결부로부터의 가스 누설 여부를 가스감지기 등으로 점검할 것

제5조 설비의 유지보수 등

1 반도체용가스 사용 설비 등의 유지보수

- (1) 배관, 덕트, 밸브, 접합부품 등에서 가스 등의 누설 우려가 있는 곳은 정기적으로 점검하고, 또한 이들의 녹 발생 상황, 부식 상황 및 반응 생성물의 침전 유무에

관해서도 정기적으로 점검할 것

- (2) 배관, 밸브, 접합부품 등에 사용되는 패킹 또는 가스켓은 정기적으로 교체할 것
- (3) 배기가스 처리 장치는 필터의 막힘, 녹 발생 상황, 부식 상황 및 반응 생성물의 침전 유무를 정기적으로 점검할 것
- (4) 옥외에 설치된 섬유강화플라스틱 재질의 폐액 등의 저장탱크는 경시변화에 의한 부식, 균열, 자외선에 의한 열화 상황 등의 이상 유무를 정기적으로 점검할 것
- (5) 진공 펌프 오일은 정기적으로 교체할 것

2 유지보수 작업

- (1) 반도체용 가스와 산 등을 취급하는 기계설비의 수리, 조정, 점검 등의 작업은 해당 작업에 필요한 지식과 기술을 충분히 습득한 자에게 실시하도록 할 것
- (2) 유지보수 작업을 다른 사업자에게 맡기는 경우에는 사전에 해당 사업자와 협의하여 작업 시간, 작업 방법, 작업 절차, 이상 발생 시의 대응책 등을 정해 놓을 것
- (3) 유해한 가스, 증기 등이 체류할 우려가 있는 장치의 내부 청소 등을 할 경우에는 미리 질소가스 등의 불활성 가스로 치환할 것
- (4) 장치 내부에 부착된 유해한 반응 생성물을 제거할 경우에는 해당 장치에 국소배기장치 또는 감압장치가 설치되어 있으면 이를 적정하게 가동시킬 것
- (5) 설비, 장치, 부품 등을 점검한 경우나 장치, 부품 등을 교체한 경우에는 그 결과와 조치내용을 기록하고 보관할 것

3 진공 펌프 오일의 교환 및 처리

(1) 환기 실시

- 가. 작업 시에 발생하는 유해한 가스, 증기 등의 노출을 방지하기 위해 국소배기장치 등을 사용하고 적정하게 가동시킬 것
- 나. 국소배기장치 등의 후드는 유해한 가스, 증기 등의 발생원에 최대한 가깝게 설치할 것
- 다. 국소배기장치 등을 설치하기 어려운 경우에는 에어라인 마스크 등 효과적인 호흡 보호구를 사용할 것

(2) 작업방법 등

- 가. 폐유는 즉시 용기에 옮겨 담아 밀폐할 것
- 나. 세척에 이용한 걸레 등은 튼튼한 비닐봉지에 넣어 밀봉할 것

(3) 다른 사업자에게 위탁

- 가. 오일 교환 또는 폐유 처리를 다른 사업자에게 위탁하는 경우에는 사용한 반도체용 가스의 종류와 예상되는 분해가스, 반응 생성물 등을 기록한 서면을 교부하고, 작업방법과 강구되어야 할 대책 등에 대해 사전에 협의할 것

나. 폐유 처리를 위탁하는 경우에는 파손의 우려가 없는 용기에 넣고 밀봉하여 전달할 것

제6조 폐기물

1 폐기물 및 저장 방법

폐기물은 종류별로 분별, 수집, 저장할 것

2 폐액 등의 저장시설

- (1) 폐액 등의 저장탱크 구조는 견고할 것. 또한 부식성 폐액을 넣는 경우에는 내식성 재료를 사용할 것
- (2) 폐기물의 용기, 저장탱크 등에는 폐기물의 종류를 표시하고, 그 취급상의 주의사항을 용기, 저장탱크 등의 눈에 잘 띄는 곳에 표시할 것
- (3) 내부가 보이지 않는 저장탱크 등에는 액면계를 설치할 것. 액면계에는 상한을 표시할 것
- (4) 저장탱크 등에는 폐액이 넘칠 경우 바닥 등에 확산되거나 지하로 침투하는 것을 방지하기 위한 조치를 강구할 것
- (5) 폐액 이동 작업 등을 하는 장소에는 샤워기, 세안기 등을 설치할 것

3 이송 작업

- (1) 일시적으로 저장한 폐액 등을 운반하는 경우에는 운반 중의 전복 방지 조치 또는 유출 방지 장치를 강구할 것
- (2) 폐액 등을 집중저장탱크로 옮길 경우에는 자동펌프 등을 이용하는 등 안전한 방법으로 이동 작업을 실시할 것

제7조 비상 대책

1 가스감지 경보 설비

- (1) 가스감지 경보 설비는 다음 사항에 유의하여 선정할 것

가. 가스감지 경보기의 신뢰성

나. 감지 한계(감지 농도)

다. 샘플링 포인트의 장소

라. 비상차단 방법

마. 일상점검 및 보수 방법

- (2) 가스감지 경보 설비의 설치 장소

가스감지 경보 설비는 클린룸 내 가스가 체류할 우려가 있는 장소, 용기 수납함 내부, 흡입 덕트 내부 등 누설 부분을 신속하게 파악할 수 있는 장소에 설치할 것

(3) 예비전원

가스감지 경보 설비에는 예비전원을 확보할 것

2 긴급 차단 밸브 또는 차단장치

특수재료가스 등의 공급경로에는 가스가 누설될 경우에 공급원을 차단하기 위한 긴급 차단밸브 또는 긴급차단장치를 설치하여 안전한 장소에서 조작할 수 있도록 할 것

3 이상시의 대응

특수재료가스 등이 누설된 경우에는 감지기의 작동상황 등으로 가스 누출부분을 확인하고 즉시 그 부위에 가장 가까운 긴급차단밸브를 잠글 것

4 화재 경보설비 및 소화설비

(1) 화재 발생을 조기에 감지하고 발생부위를 특정할 수 있는 화재경보설비를 설치할 것

(2) 소화 대상에 맞는 소화설비를 설치할 것

5 산소결핍 예방

(1) 불활성 가스가 흐르는 배관, 밸브 등에는 흐르는 가스의 명칭, 흐름 방향 또는 밸브의 개폐 방향을 표시할 것

(2) 안전밸브에서 배출되는 불활성 가스는 통풍 또는 환기가 불충분한 장소에 방출하지 않을 것

(3) 불활성 가스가 유입될 우려가 있는 장소에는 불활성 가스를 방출할 수 있는 설비를 설치할 것

(4) 피트 등 통풍이 불충분한 장소에서 불활성 가스의 배관 공사를 하는 경우에는 배관에서 불활성 가스가 누출되지 않도록 확실하게 차단할 것

(5) 클린룸, 기타 불활성 가스가 유출된 경우 산소결핍 발생 위험이 있는 장소에 대해서는 산소결핍 등의 예방규정에 따라 산소결핍 위험작업 책임자를 선임할 것

6 작업규정 정비

비상사태가 발생한 경우의 응급조치에 대한 작업규정을 작성할 것

제8조 보호구

1 보호구 사용

(1) 이하 작업을 할 경우에는 호흡보호구, 안면보호구, 보호복 또는 보호장갑 등의 보호구를 착용하고 작업을 실시할 것

가. 각종 공정의 장치 세정, 오버홀 등의 작업

나. 진공 펌프 오일의 교환 또는 처리 작업

다. 폐기물 이동 작업

라. 산 등의 취급 작업

- (2) 보호장갑은 불침투성이면서 내약품성인 것을 사용할 것
- (3) 안면 보호구는 안면 후드나 보호안경을 사용할 것
- (4) 보호복은 피부의 노출 부위를 충분히 보호할 수 있는 것을 사용할 것
- (5) 긴급 시에 사용하는 호흡용 보호구는 공기호흡기를 사용할 것

2 보호구 비치

- (1) 보호구는 동시에 작업하는 인원과 같은 수 이상을 비치하고 항상 유효적절하고 청결하게 유지할 것
- (2) 공기호흡기는 긴급 시에 즉시 사용할 수 있는 장소에 비치할 것

제9조 건강진단

산업안전보건 관련 법령 및 고시에 규정된 건강진단에 관해서는 그 적정한 실시를 도모하는 한편, 그 대상이 아닌 유해물질에 대해서도 그 인체에 미치는 영향, 노출된 근로자의 호소 등에 착안하여 의사에 의한 특별 건강진단 항목을 실시한다. 또한 이러한 유해물질이 누설된 경우, 관련 근로자가 오염되거나 이를 흡입했을 때는 긴급히 의사의 특별건강진단을 실시한다.

제10조 교육훈련

노동부 고용 시 및 작업내용 변경 시에는 작업내용에 따른 안전보건교육을 실시하고, 전 근로자, 공정관리담당자, 설비보전담당자 등의 직무에 따른 교육·훈련을 실시한다.

별표1 수소 및 수소화물의 물리적 및 화학적 성질(1-1)(표)

별표1 수소 및 수소화물의 물리적 및 화학적 성질(1-2)(표)

별표2 할로겐 및 할로겐화물의 물리적 및 화학적 성질(2-1)(표)

별표2 할로겐 및 할로겐화물의 물리적 및 화학적 성질(2-2)(표)

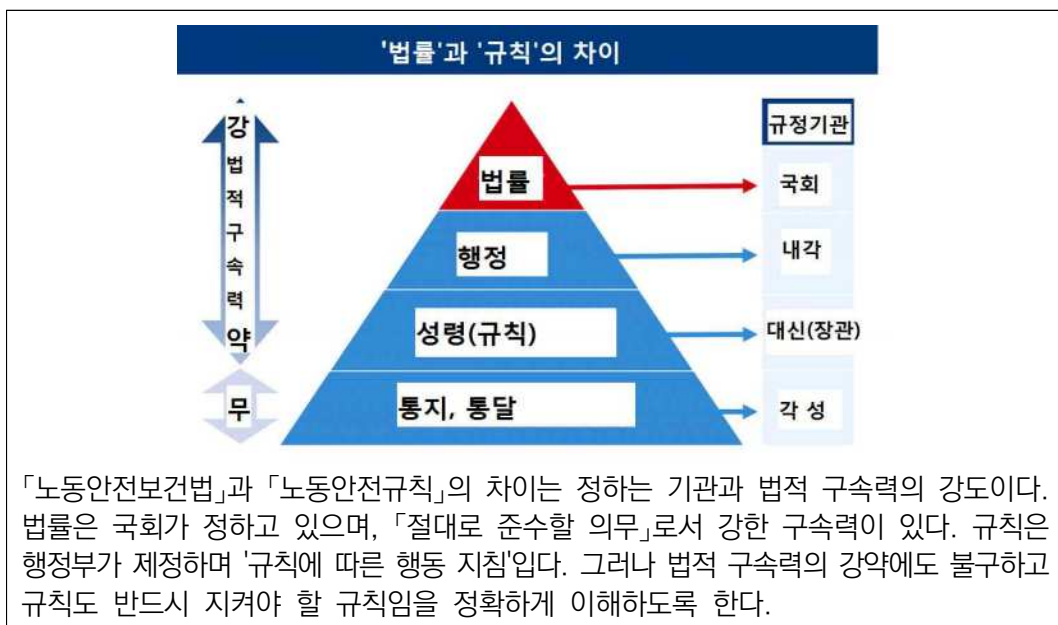
별표2 할로겐 및 할로겐화물의 물리적 및 화학적 성질(2-3)(표)

별표2 할로겐 및 할로겐화물의 물리적 및 화학적 성질(2-4)(표)

별표3 기타 가스의 물리적 및 화학적 성질(표)

(2) 반도체 공정 안전보건 대책 지침의 법적 구속력

- [그림 III-60]는 일본 ‘노동안전위생법’의 법적 구속력을 설명한 것이다. 법과 규칙의 차이는 우리나라와 같이 이를 제정한 기관과 법적 구속력의 힘의 세기이다. 법률은 국회가 정하는 것으로, ‘절대로 준수할 의무’로서 강한 구속력을 갖는다. 규칙은 제정기관이 행정부로, ‘룰에 맞는 행동 지침’이다. 하지만 법적 구속력의 강약에 관계없이 규칙도 반드시 지켜야 한다.
- 일본의 “반도체 제조 공정의 안전보건 대책 지침(半導体製造工程における安全衛生対策指針について)(통달)”의 법률적(이론적)인 성격은 행정 내부의 명령이다. 외부, 즉 국민, 기업 및 법원에는 법적 의미로서의 영향(구속력)을 주지는 못하나 통념상 기업이 모두 준수해야 하는 룰이다. 따라서 이 지침은 기업이 다양한 방법으로 활용하는 가이드가 되는 것은 분명한 것으로 보인다. 실제 내용도 기업이 활용할 만한 내용이 대부분이다.

[그림 III-60] 법률과 통달 지침의 법적 구속력 차이⁴¹⁾

- 이외 일본 후생노동성에서 제작 배포한 브로셔/리플렛 등도 검토했으나 특별히 반도체 공정의 안전보건 관련에 특화된 내용은 없었다. 모두 유해인자 중심 내용으로 모든 산업에 적용할 수 있는 내용들이다⁴²⁾.

4) 한 국

- 우리나라 산업안전보건법 및 시행령은 반도체 등 전자산업에만 별도로 적용하는 규정을 가지고 있지 않다. 이에 노동부와 산업안전보건공단에서 반도체 공정 작업자나 안전보건관리자 등을 위해 제공하는 안전보건 자료의 양을 알아보고자, 각 기관의 홈페이지에서 ‘반도체’, ‘전자산업’의 키워드를 검색해 보았다. 그 결과, 노동부 홈페이지에서는 뉴스 외에는 정보공개, 정책자료, 법령정보 등에 단 한 건의 관련 자료도 검색되지 않았다.
- 한국산업안전보건공단의 홈페이지에서도 반도체 관련 자료를 검색한 결과, 대다수가 반도체 기업에서의 재해사례(170건 중 76건)였으며, 반도체 작업자들이나 안전보건관리자들이 활용할 수 있는 작업가이드나 교육자료(동영상 포함) 등의 안전보건 자료는 최근에 제작된 수산화테트라메틸암모늄(TMAH) 취급 가이드(2021)와 반도체 현장실습생을 위한 건강관리 동영상 및 파워포인트 교육 자료(2023)가 전부였다. 이는 반도체 공정에서 사용되는 유해화학물질로 인해 지난 10여 년간 다수의 직업병 환자가 발생했음에도 불구하고, 이들의 예방을 위한 안전작업 가이드나 교육자료가 턱없이 부족하다는 것을 나타내기도 한다.
- 그 동안의 공단사업이 주로 반도체 공정의 유해성을 파악하기 위한 연구와 역학 조사 등에 집중되었기에 관련 연구보고서들이 주요 자료로 검출되었지만 현장작업자나 안전보건관계자가 이들을 현장에서 직접 활용하

41) https://www.robot-befriend.com/blog/industrial_safety_and_health_act/

42)

https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/gyousei/anzen/index.html

는데는 여전히 제한점이 많다.

- 또한, 제정된 1,372개의 KOSHA Guide 중 반도체 공정과 직접 연관된 지침서는 ‘반도체 제조공정의 안전작업에 관한 기술지침(P-127-2012)’, ‘반도체 공정에서 가스를 취급하는 벌크시스템의 안전에 관한 기술지침(P-122-2012)’, ‘반도체 제조설비의 화재 방지 및 방호 기술지침(P-16-2012)’, ‘전자산업에서의 특수가스 취급안전 기술지침(P-12-2012)’ 등 4종에 불과했다. 더욱이 이들 가이드는 모두 2012년에 제정된 후 한 번도 업데이트되지 않았으며, 빠르게 변화하는 반도체 산업 및 공정의 실질적인 상황에 맞게 활용하기에는 부족하다. 특히 이러한 가이드들은 화재 및 가스 안전에 국한되어 있으며, 다수의 직업병이 발생한 반도체 주요 공정의 안전보건관리, 기계 정비 및 해당 공정에서 사용하는 유해 화학물질 취급과 관리에 대한 기술지침서가 거의 없었다.
- 또한 반도체 제조공정에 해당되지는 않지만 반도체 제조의 지속성을 위해 정기적으로 기계부품을 세척하고 교환, 정비해야 하는 부속공정들의 관리 가이드도 거의 개발되지 않았음을 자료검색 과정에서 알 수 있었다.

5) 국가 반도체 협의회 활동

(1) SEMI(국제 반도체 장비 및 재료 협회)

- 국제 반도체 장비 및 재료 협회(Semiconductor Equipment and Materials International)의 약자인 SEMI는 1970년 미국 전자 산업에 반도체 장비 및 재료 공급업체들이 모여 설립한 단체이다. 반도체, 디스플레이, 태양광, 나노 규모 구조물, 마이크로 전자기계 시스템(Micro-Electro-Mechanical Systems, MEMS) 및 관련 기술을 제조하는 데 사용되는 장비, 재료 및 서비스를 제공하는 기업들을 지원하는 글로벌 반도체 산업 협회다. SEMI는 전 세계 모든 주요 마이크로 일렉트로닉스 및 디스플레이 제조 지역에 사무소를 운영하고 프로그램 활동을 주도한다.
- 오늘날 SEMI는 전 세계 2,400개 이상의 회원사와 130만 명의 전문가

를 연결하여 전자 설계 및 제조 기술과 관련 비즈니스를 발전시키고 있다. 회원사들은 반도체, 태양광(태양 에너지), 고휘도 LED, 마이크로 전자기계 시스템, 평판 디스플레이(Flat Panel Display, FPD), 관련 마이크로 및 나노 전자기기와 같은 첨단 기술 분야를 포함한 전체 전자 생태계에 두루 존재한다. 자세한 내용은 www.semi.org 에서 확인할 수 있다. 또한 환경, 보건 및 안전(Environment, Health & Safety, EHS), 지적 재산권 보호, 인력 개발 및 기타 분야에서 업계 모범 사례를 홍보하는 활동도 한다. 자세한 내용은 홈페이지에서 확인할 수 있다.

(2) SEMI 안전보건 표준

- SEMI는 반도체 제조 장비에 대한 안전 표준을 포함하여 반도체 산업과 관련된 광범위한 기술 표준을 개발하고 발표한다. 이러한 표준은 전 세계적으로 사용되며 안전성을 개선하고 효율성을 높이며 산업 내 혁신을 촉진하는 것을 그 목표로 하고 있다.
- 여기에는 반도체 공정과 관련된 환경, 건강 및 안전(EHS)과 관련된 표준도 있다. 이들은 미국산업안전보건청 홈페이지에 국가 공인 표준(National Consensus Standard)으로 게시되어 있다.
 - SEMI S2: Environmental, Health, and Safety Guideline for Semiconductor Manufacturing Equipment<반도체 제조 장비에 대한 환경, 보건 및 안전 가이드라인>. 반도체 제조에 사용되는 장비에 대한 환경, 보건 및 안전의 여러 측면을 다루는 포괄적인 표준임.
 - SEMI S8: Safety Guidelines for Ergonomics Engineering of Semiconductor Manufacturing Equipment<반도체 제조 장비의 인체공학 엔지니어링을 위한 안전 지침>. 이 표준은 인체공학에 중점을 두고 있으며, 잘못된 인체공학 설계로 인한 부상을 방지하고자 개발된 표준임.
 - SEMI S10: Safety Guideline for Risk Assessment and Risk

Evaluation Process<위험 평가 및 위험 평가 프로세스를 위한 안전 지침>. 이 표준은 반도체 제조 장비와 관련된 위험을 식별하고 평가하는 체계적인 방법을 제공함.

- SEMI S14: Safety Guidelines for Fire Risk Assessment and Mitigation for Semiconductor Manufacturing Equipment<반도체 제조 장비의 화재 위험 평가 및 완화를 위한 안전 지침>. 이 표준은 이 장비와 관련된 화재 위험을 최소화하는 것을 목표로 함.
- SEMI S23: Guide for Conservation of Energy, Utilities, and Materials Used by Semiconductor Manufacturing Equipment <반도체 제조 장비에 사용되는 에너지, 유틸리티 및 재료 보존을 위한 가이드>. 이 표준은 반도체 제조의 환경 발자국을 줄이기 위한 지침임.
- SEMI S30: Safety Guideline for Use of Collaborative Robots Used in Semiconductor Manufacturing Equipment Applications <반도체 제조 장비 애플리케이션에 사용되는 협동 로봇 사용에 대한 안전 지침>. 이 표준은 협동 로봇(코봇)의 안전한 사용을 다루기 위해 개발됨.
- SEMI E49.8: Guide for High Purity and Ultrahigh Purity Piping Performance, Subassemblies, and Final Assemblies<고순도 및 초고순도 배관 성능, 하위 어셈블리 및 최종 어셈블리를 위한 가이드>. 이 표준은 고순도 유체 취급의 안전 및 환경 측면을 다룸.

(3) 국가별 반도체 산업 협회

- 국가마다 반도체 산업 협회(Semiconductor Industry Association, 이하 SIA라 한다)가 있어 해당국가 반도체 산업을 대표하고 반도체 산업의 경쟁력을 지원하는 정책 및 규제 옹호, 연구 협력 촉진, 업계 데이터 제공 등의 활동을 하고 있다. 또한, 회원사들의 이익을 위해 로비 등을 통해 반도체 제조업체의 이익을 지원하는 역할도 담당하고 있다.
- 각국의 반도체 협회는 안전 및 보건 분야에서 자체 개발한 표준은 없지

만 SEMI(국제반도체장비재료협회)와 같은 글로벌 산업협회가 개발한 표준을 홍보하고 이행하는 데 그 역할을 한다. 아래는 각국의 반도체 산업 협회 리스트이다.

- 미국 반도체산업협회(SIA)
- 한국 반도체산업협회(KSIA)
- 유럽 반도체산업협회(ESIA)
- 일본 전자정보기술 산업협회(JEITA)
- 대만 반도체산업협회(TSIA)
- 중국 반도체산업협회(CSIA)
- 인도 전자 및 반도체 협회(IESA)

가) 미국 반도체산업협회(SIA)

- 미국 반도체산업협회(SIA)는 1977년 설립된 미국의 반도체 산업을 대표하는 비영리 단체로서, IBM, 인텔 등을 포함한 35개의 주요 회원사와 삼성전자와 TSMC를 포함한 16개의 국제 회원사 및 다양한 협력사와 파트너를 가지고 있다.
- SIA는 홈페이지⁴³⁾를 통해 미국의 반도체 기업들을 대표하고, 의회, 행정부 및 주요 업계 이해관계자와 협력하여 비즈니스를 성장시키며 국제 경쟁을 촉진하는 정책 및 규정을 지지함으로써 반도체 제조, 설계 및 연구 분야에서 미국의 리더십을 강화하는 것을 주요 목표로 삼고 있다. 특히 SIA는 다음과 같은 업계의 활동을 옹호하고 조직한다고 공표하고 있다.
 - 회원사를 위한 기술 분야에서의 세계 선도를 유지하고 촉진하기 위한 전략을 구현
 - 공정한 경쟁의 장을 제공하는 공공 정책 지지
 - 공정하고 개방적인 거래 촉진
 - 시장 동향에 대한 통계정보 추적 및 배포

43) <https://www.semiconductors.org/>

나) 한국 반도체산업협회(KSIA)

- 한국 반도체 산업 협회(KSIA)는 1991년 설립됐으며, 소자/파운드리, 설계, 패키징, 재료, 장비, 부품 등 분야에 총 311개의 회원사를 가지고 있다. KSIA는 홈페이지를 통해 환경안전보건 패러다임의 빠른 변화에 따른 적절한 대응을 통해 회원사들을 지원하기 위한 다양한 사업들을 시행하고 있다고 전하고 있다⁴⁴⁾.
- 이에 협회의 안전보건 부서를 접촉해 본 결과, 회원사를 대상으로 세미나나 교육 등의 사업을 실행하고 있지만 자체 개발한 환경안전보건 가이드나 매뉴얼, 표준 등은 없는 것으로 확인됐다.



44) https://www.ksia.or.kr/guideKSIA.php?data_tab=10

[그림 III-61] 한국 반도체 산업 협회(KSIA)의 홈페이지에 게시된 환경

다) 유럽 반도체산업협회(ESIA)

- 유럽 반도체산업협회(ESIA)는 1995년 유럽의 반도체 산업을 대표하기 위한 기관으로 설립되었다. 유럽에 기반한 반도체 기업들의 공통 이익을 정부기관 및 이해관계자에게 대변하고 지속 가능한 비즈니스 환경을 확립하여 국제 경쟁력을 촉진하기 위한 활동들을 하고 있다.
- ESIA는 홈페이지⁴⁵⁾를 통해, 반도체 산업은 유럽 연합에서 가장 R&D 집중 분야로 평가되며 유럽에서 직접적으로 약 20만 개의 일자리와 관련되며 간접적으로는 백만 개 이상의 일자리를 제공한다고 말하고 있다. ESIA의 미션 및 활동내용은 다른 반도체 산업협회와 크게 다르지 않다.

라) 일본 전자정보기술 산업협회(JEITA)

- 일본 전자정보기술 산업협회(Japan Electronics and Information Technology Industries Association, 이하 JEITA라 한다)는 반도체산업에만 국한된 다른 나라의 SIA와 달리 좀 더 포괄적으로 전자 및 정보 산업 전반의 기업들을 대표한 활동을 하고 있다. JEITA는 2000년 일본 전자기계 공업협회(Electronic Industries Association of Japan, EIAJ)와 일본 전자공업진흥협회(Japan Electronic Industries Development Association, JEIDA)가 합병하여 현재의 협회가 되었다.
- JEITA는 378개의 회원사를 가지고 있으며 전자 정보 산업의 발전과 혁신을 촉진하며 이해관계자 간의 협력을 도모한다. JEITA의 주요 활동에는 정부정책 및 규제 지원, 관련 표준 개발, 연구 및 개발 지원, 교육 및 인력 양성, 산업 동향, 통계 데이터, 보도 자료 등 관련 정보 제공이 포함된다.
- JEITA는 반도체 산업 관련한 다양한 표준들을 홈페이지⁴⁶⁾를 통해서 제

45) <https://www.eusemiconductors.eu/esia>

공하고 있지만, 모두 기술관련 표준으로서 안전보건과 관련된 별도의 표준은 찾아볼 수 없었다.

46) <https://www.jeita.or.jp/cgi-bin/standard/list.cgi?cateid=5&subcateid=40>

마) 대만 반도체산업협회(TSIA)

- 대만 반도체 산업 협회(TSIA)는 1996년에 설립된 비영리 단체로서, R&D, 반도체 설계, 제조, 패키징, 테스트, 장비, 재료 등 분야에서 190개 이상의 회원사를 보유하고 있다. 내부 조직으로서 10개의 위원회를 구성하고 있으며, 그 중 ‘환경보호, 안전보건 위원회’는 회원사들의 산업안전 및 환경보호 부문장으로 구성되었다. 이 위원회는 반도체 업계의 산업안전·환경 문제를 논의하기 위한 정기 간담회를 개최하고, 기술 세미나나 국제회의 등 국제 산업안전·환경 단체 및 활동에 참여하고 있다⁴⁷⁾.
- 이에 최근 ‘환경보호, 안전보건 위원회’의 주요활동을 살펴본 결과, "반도체 산업의 탄소배출 제로화 촉진을 위한 협력 의향서"에 서명하는 등 온실가스 배출 저감 및 폐기물 관리에 앞장서는 환경 분야 활동이 주된 것이었다. 본 연구의 취지에 부합하는 반도체 공정의 안전보건 규정이나 가이드 등의 개발과 관련한 활동은 찾아볼 수 없었다.

바) 중국 반도체산업협회(CSIA)

- 중국 반도체산업협회의 공식 웹사이트는 “China Exhibition”의 홈페이지⁴⁸⁾로 알려져 있으나, 중국의 반도체 산업과 관련한 통계, 산업 동향, 보도 자료만 열람이 가능해 협회의 규모나 구체적인 안전보건 활동과 관련한 자료를 확인할 수 없었다.

사) 인도 전자 및 반도체협회(IESA)

- 인도 전자 및 반도체 협회(India Electronics and Semiconductor Association, IESA)는 2004년 설립된 비영리 단체로서 반도체 및 디스플레이 기술 분야의 저명한 전문가 그룹으로 구성되었다. IESA의 활동 목표는 후발주자인 인도의 전자 및 반도체 제조 산업의 성장을 주도하

47) <https://www.tsia.org.tw/>

48) <https://www.chinaexhibition.com/>

여 인도를 전자 및 반도체 설계 및 제조의 선호 지역으로 만드는 것이다. 이를 위해 정부 기관, 기업 및 학술 기관과 협력해 반도체 및 디스플레이 생태계 개발 프로그램을 종합적으로 추진하고 있으며, 주요 활동은 반도체산업의 성장과 글로벌 허브로서의 확립에 치중하고 있다.

6) 국제심포지엄:전자산업의 새로운 건강 및 안전 위험에 대한 사전 예방적인 접근(A Proactive Approach to Emerging Health and Safety Risks in the Electronic Industry)

- 반도체 공정은 주력 제품군이 빠르게 바뀌고 이에 따라 제조 공정 및 부속설비들, 사용되는 화학물질들까지 지속적으로 바뀌는 특성이 있다. 이에 현재 반도체 산업을 주력기업으로 가지고 있는 한국, 대만, 일본 등지의 산업보건 전문가들이 한자리에 모여 서로의 연구결과물을 공유하고 최근의 안전보건 이슈들을 논의하고자 연구책임자 및 연구원들이 주축이 되어 인터내셔널 심포



지움을 개최하였다. 심포지움은 “전자산업에서의 새로운 안전보건 위험에 대한 전향적인 접근: A proactive Approach to Emerging Health and Safety Risks in the Electronic Industry”이라는 주제를 가지고 인천 하버파크 호텔에서 2023년 10월 26일과 27일, 이틀간 진

행하였다. 각 주제별 발표는 부록2에 정리하였다.

- 9명의 해외 전문가를 포함, 총 70명의 전문가들이 참석하였으며, 6개 세션을 통해 총 20개의 다양한 주제 발표가 있었다. 6개 세션의 주요내용은 다음과 같다.
- (1) 한국 전자산업에서 산업보건 관련 진행 중인 연구: Ongoing Studies on Occupational Health in the Electronic Industry of Korea
 - 현재 진행 중인 두 개의 연구 책임자들이 연구 개요와 중간 결과를 간략하게 소개하였으며, 중소기업 사업장을 포함한 사업장 공정에 대한 물리적인 접근 방법에 대한 논의들이 이루어졌다.
- (2) 전자산업에서 산업보건 위험을 관리하기 위한 사례연구 및 통찰: Insights and Case Studies: Managing OH Risks in the Electronics Industry
 - 대만 대표 파운드리기업인 TSMC에서의 근로자 건강관리 및 검진 프로그램, 일본 미쯔비시사의 산업안전보건프로그램, SK 하이닉스 기업의 JEM(Job Exposure Matrix)개발 사례 등이 발표되었다. 특히 건강관리 사업을 진행하면서 프로그램의 효율을 극대화하기 위해 유의할 점 등이 경험사례에 기반해 추가 논의되었다.
- (3) 전자산업에서 산업보건 위험을 관리하기 위한 사례연구 및 통찰: Insights and Case Studies: Managing OH Risks in the Electronics Industry
 - 일본 반도체 산업에서의 안전보건관리 활동과 현황, 한국 반도체 하도급 작업장을 위한 보건관리 지원 사업 소개, 인도네시아 전자부문에서 안전보건프로파일 구축을 위한 초기 데이터, 싱가포르 전자사업장에서의 인간공학 개선 사례 등이 공유되었다.

(4) 직업성 질환의 원인 조사에 대한 평가와 보상 방법에 대한 고찰:
Approaches for Compensation and Evaluation in Examining the Causes of Occupational Diseases

- 대만 전자부품제조업에서 업무 스트레스가 라이프 스타일에 미치는 영향과 일본 전자사업장에서 직업성 질환 스크린을 위한 건강검진 제도 등이 소개되었다. 특히, 한국 반도체 공장에서 적용하고 있는 새로운 방식(Compensable diseases 개념 적용)의 직업성질환 보상사례가 자세하게 발표되었다. 이는 기존 개별적인 과학적 인과관계에 의거한 산재 보상시스템에서 진일보한 보상 방식으로서, 인과관계의 증명이 없더라도 특정 시기, 특정 공정에서 특정 기간 이상을 근무한 직무력이 있는 경우 폭넓게 직업성질환으로 보상하게 된 사회적인 배경과 그 동안의 논의점 및 합의를 이루는 과정에 대한 자세한 소개가 이루어졌다.

(5) 전자 산업에서의 화학물질 관련 직업 건강 문제: Chemical-Related Occupational Health Concerns in the Electronics Industry

- 한국 전자사업장에서 발생한 솔벤트 중독 사례, 대만 전자사업장에서 조사한 저농도 VOC 노출과 관련한 잠재적인 건강 위험 확인, 전자 사업장에서 화학물질 사용실태와 앞으로의 쟁점들, 한국 5개 반도체/전자 사업장에서의 직업성 질환 보상의 특성과 사고사례들이 차례로 발표되었다. 특히, ppb 수준(기준치 수백분의 일)의 저농도 VOC 노출에서도 생리주기 변화나 신장기능 악화 등의 결과를 확인한 대만의 연구결과에 대한 많은 질의와 논의가 이루어졌으며, 미국과 유럽의 국가들이 반도체 제조 공정을 새로이 구축하면서 예측되는 화학물질관리의 새로운 쟁점들과 대처에 대한 정보들이 공유되었다.

(6) 전자 산업에서의 직업적 노출과 건강문제에 대한 연구: In-depth Study on Occupational Exposure and Health Concerns in the

Electronics Industry

- 대만 TFT-LCD 사업장에서 실시한 장기간 화학물질 노출 평가 사례, 한국 반도체 공정에서의 직업병 발생률과 치사율에 관한 코호트 연구, 한국 반도체와 디스플레이 산업에서 국가데이터를 이용한 건강 데이터 분석, 마지막으로 반도체 공정에서의 극저주파 피크 노출에 대한 주제 발표가 있었다. 특히, 2007년 이후 한국에서 커다란 사회적 논쟁을 일으켰던 반도체 공정에서의 직업병 발생이 한국산업안전공단 연구원의 코호트 연구를 통해 유의미하게 확인되었으며, 최근의 국가 데이터를 분석한 연구는 대기업보다 중소기업에서의 직업성질환 발생률이 낮은 이유에 대한 이슈를 제기하였다.

7) 결론 및 제언

- 이 장에서는 반도체 산업이 발달한 미국, 대만, 일본의 사례를 토대로 전자산업 및 반도체 공정에 특화된 규정이나 가이드·지침서 등을 살펴 보았다. 요약하면, 이들 국가에서도 반도체 공정에만 특화된 법규나 가이드를 정부에서 개발·보급한 사례는 많지 않았다. 대신 SEMI의 표준을 주요 공정의 안전보건관리나 기술지침서로 가장 많이 활용하고 있었다. 그러나 반도체 설비들의 정비공정에 대한 안전보건가이드는 1988년 제정된 일본의 “반도체 제조 공정의 안전보건 대책 지침”이 유일했다.
- 우리나라도 산업안전보건법 및 시행령에 반도체 등 전자산업에 별도로 적용하는 규정은 가지고 있지 않다. 노동부나 산업안전보건공단에서 제공하는 자료에도 반도체 작업자들이나 안전보건관리자들이 직접 활용할 수 있는 안전작업가이드나 교육자료는 상당히 부족한 것으로 나타났다.
- 따라서 반도체 주요 공정별 안전작업관리, 특히 주요 공정들의 설비 및 부속설비들의 정비작업을 위한 안전보건가이드, 반도체 제조공정은 아니지만 유해화학물질(산, 알카리, 유기용제 등)을 이용한 부품 세척 등의

부속 공정에 대한 지침서나 가이드의 개발이 시급한 과제다.

- 더불어, 주요 반도체 산업 국가들의 안전보건 전문가들 간의 적극적인 소통과 협의가 필요하다. 빠르게 바뀌는 반도체 공정들에서 발생하는 새로운 안전보건 이슈 및 재해사례들을 공유하면서 해결책을 논의하는 것이 중요하다. 뿐만 아니라 교육자료나 주요공정별 안전작업가이드, 부속 공정 관리를 위한 지침서 등을 공유함으로써 각자 개발에 드는 시간, 비용 및 자원을 절약할 수 있다.
- 반도체 산업은 지난 30여 년간 우리나라에서 빠르게 확대 발전하였으며, 정부는 지난 3월 미래 주력 사업으로 세계 최대 첨단 반도체 클러스터를 용인시 남사읍 일대에 구축할 계획을 발표하였다. 이에 따라, 정부, 지자체, 기업들의 협력하여 토지 정비, 용수, 전력 등 반도체 클러스터 운영에 필요한 인프라 구축 및 공장 건설을 신속하게 진행할 것으로 예상된다. 이러한 대규모 국가사업을 수행함에 있어 고려해야 할 중요 사항은 안전보건전문가의 적극적인 참여와 사전 안전보건 법규의 철저한 검토, 해당 법규를 준수하기 위한 권고 사항의 적극적인 반영일 것이다.
- 또한, 작업자 및 안전보건관계자들의 정보 공유와 기존 자료의 빠른 접근을 위해 노동부나 공단의 홈페이지에 반도체 관련 안전보건자료를 효과적으로 정리하는 것도 고려해볼 만하다. 예를 들면, 링크를 통해 곳곳에 흩어져 있는 법령 정보, 공정별 기술정보, 유해화학물질 별 가이드, 교육자료, Q&A 등을 한 곳에서 볼 수 있도록 정리해 사용자 편의성을 극대화하는 것이다. 미국 산업안전보건청은 반도체 산업뿐만 아니라 주요 안전보건 주제, 산업별 안전보건관리, 사회적 이슈가 되는 관심 주제 등을 토픽 별로 일목요연하게 정리해 바로가기를 통해 작업자나 안전보건관계자가 손쉽게 정보에 접근할 수 있도록 홈페이지를 관리하고 있다 (부록 1 참조).

8) 소 결

- 미국 산업안전보건청(OSHA)의 연방법은 반도체 제조 공정에만 적용되는 특별조항을 가지고 있지 않으며, 일반 사업장(General industry)에 적용되는 법규(29 CFR Part 1910)를 반도체 공정에도 적용하고 있다. 미국의 주 계획(State Plan) 중에도 반도체 공정 관련 별도의 안전보건 관리 규정은 없는 것으로 조사되었다. 대신, 미국은 SEMI와 미국소방안전협회의 표준들을 국가공인표준으로 인정하고 있다.
- 대만 산업안전보건청은 반도체산업에 별도 적용되는 안전보건 관련 규정을 제정한 적이 없다. 대만 반도체산업협회(TSIA)도 대만의 반도체 산업체들이 경쟁력을 유지할 수 있도록 돕는 것을 목표로 하고 있지만, 반도체 공정에 적용할 수 있는 산업안전 및 보건에 대한 자체 지침을 개발한 적이 없는 것으로 조사되었다.
- 일본 후생노동성은 “반도체 제조 공정의 안전보건 대책 지침”을 1988년 제정했다. 이 지침은 행정 내부 명령으로, 법적 구속력을 주지는 못 하나 통념상 기업이 모두 준수해야 하는 룰이다. 해당 지침은 반도체 공정, 시설, 부품, 재료가 갖고 있는 위험을 전반적으로 관리하기 위한 내용을 포함하고 있다.
- 우리나라는 빠르게 확대 발전하는 반도체산업의 특성을 인식하고 효율적인 안전보건 관리를 위해 공정별 안전작업관리, 특히 주요 공정들의 설비 및 부속설비들의 정비작업을 위한 작업가이드, 반도체 제조공정은 아니지만 부품 세척 등의 부속 공정관리에 관한 지침서나 가이드의 개발이 시급한 과제다.
- 반도체 주력 국가들의 안전보건 전문가들이 긴밀하게 소통하고 협의하는 것이 필요하다. 빠르게 바뀌는 반도체 공정에서 발생하는 다양한 안전보건 이슈 및 재해사례들을 공유하고 협의하면서 해결방안이나 정책들을 논의하는 것이 필요하다. 또한 각국의 교육자료나 안전작업가이드·지침서 등을 공유한다면 각자 개발에 드는 시간, 비용 및 자원을 크게 절약할 수 있다.

6. 안전보건가이드 개발 배경 및 전문

1) 개발 대상 작업 선정 이유와 활용범위

본 연구에서 선정한 안전보건가이드 개발 대상 작업은 총 6 종이다. 각 작업별 안전보건가이드 개발 선정 이유와 활용범위를 아래 정리했다. 6종 안전보건가이드 전문은 별책으로 만들었다. 또 부록 3에도 첨부했다.

〈표 III-63〉 안전보건가이드 개발 대상 작업과 활용범위

종류	선정 이유: 안전보건 위험 등 정성적 평가 등	활용 범위
전자산업 공정 설비 정비 작업 안전 보건가이드	■ 전자산업 공정 설비 정비 작업의 안전보건 유해인자 노출은 운전자 등 다른 직무보다 높은 것으로 알려져 있음 ■ 공정 자동화되어도 설비 정비는 수동으로 정비해야 함. 각종 안전보건유해요인 노출 빈번함 ■ 정비 작업시 안전사고 및 질질병 위험 가능성 더 높음	■ 전자산업 공정 설비 등 각종 정비작업에 폭넓게 활용할 수 있음(크린룸과 크린 룸 외 공정, fab and non-fab정비 모두 활용 가능). ■ 정비 특성에 따라 일부 수정 보완해서 사용해야 함 ■ 크린룸 fab 공정 설비에 광범위하게 활용할 수 있음
전자산업 증착 공정 설비 정비 작업 안전 보건가이드	■ 물리적, 화학적 기상 증착 공정에서 많은 화학물질을 사용함 ■ 각종 가스상, 입자상 화학물질로 인한 화학물질 누출, 폭발, 연소, 질식, 급성 만성 질병 위험 있음 ■ 안전보건위험 높음	■ 디스플레이, 반도체 등 전자산업에서 필수 공정으로 운영됨(크린룸, fab 공정 정비 활용 가능) ■ 금속 등 박막 증착 등 광범위하게 운영됨 ■ 증착 설비 공정은 많은 전자산업 및 제조업에서 운영함 → 증착 기술, 작업 특성에 따라 본 가이드를 개정해서 광범위하게 활용할 수 있음

종류	선정 이유: 안전보건 위험 등 정성적 평가 등	활용 범위
전자산업 연마 블라스팅 세정 작업 안전보건 가이드	■ 연마블라스팅 세정 작업은 가장 위험한 작업 중 하나임. 송기마스크를 착용해야 하는 위험 작업임 ■ 전자산업 공정에서 사용한 기계, 부품 등에 붙은 오염물질 제거하는 작업에서 각종 연마재, 소음 등에 노출될 수 있음 ■ 밀폐공간 작업	■ 전자산업 사외 협력 하청 업체에서 주로 담당함. 정확한 규모는 알지 못하지만 영세 규모 기업에서 광범위하게 활용할 수 있음 (non-fab 세정 작업 활용 가능) ■ 건설업, 조선업 등에서도 본 가이드를 개정해서 광범위하게 활용할 수 있음
전자산업 식각 공정 설비 정비 작업 안전 보건가이드	■ 반도체, LCD 등 전자산업에서 건식, 습식 공정에서 많은 화학물질을 사용함 ■ 화학물질 누출, 폭발, 연소, 질식, 급성 만성 질병 위험 있음 ■ 안전보건위험 높음	■ 디스플레이, 반도체 등 전자산업에서 필수 공정으로 운영됨(크린룸, fab 공정 정비 활용 가능). ■ 금속 등 박막 증착 등 광범위하게 운영됨 ■ 식각 설비 공정은 많은 전자산업 및 제조에서 운영하는 공정으로 본 가이드 활용 가능성 많음: 식각 기술, 작업 특성에 따라 본 가이드를 개정해서 광범위하게 활용할 수 있음
전자산업 이온주입 공정 설비 정비 작업 안전 보건가이드	■ 전기적 특성을 부여하기 위한 불순물 화학물질과 에너지를 광범위하게 사용함 ■ 엑스레이, 비소 등 발암 가능인자 노출될 수 있음 ■ 각종 불순물 가스 등 화학물질 누출, 폭발, 급성 만성 질병 위험 있음 --> 안전보건위험 높음	■ 디스플레이, 반도체 등 전자산업에서 필수 공정으로 운영됨(크린룸, fab 공정 정비 활용 가능) ■ 반도체 공정에서 반도체에 전기적 특성을 부여하는 필수 공정임 --> 이온임플란트 특성에서 따라 본 가이드를 개정해서 광범위하게 활용할 수 있음

종류	선정 이유: 안전보건 위험 등 정성적 평가 등	활용 범위
전자산업 일반 세정 작업 안전보건 가이드	■ 세정 작업은 가장 위험한 작업 중 하나임. 각종 화학물질, 에너지, 연마재 등을 사용해서 전자산업 공정에서 사용한 기계, 부품 등에 붙은 오염물질 제거하는 작업임 ■ 유기용제 등 급성 화학물질 중독이 일어나는 작업 중의 하나임 ■ 화학물질 누출과 이로 인한 급성 노출 등 발생위험이 있음	■ 전자산업 사외 협력 하청 업체에서 주로 담당함. 정확한 규모는 알지 못하지만 영세 규모 기업에서 광범위하게 활용할 수 있음 (non-fab 세정 작업 활용 가능) ■ 각종 제조업 공무 등 각종 크고 작은 공정 기계, 부품 세정 작업은 본 가이드를 개정해서 광범위하게 활용할 수 있음

2) 전자산업 공정 설비 정비작업 안전보건 가이드

(1) 주요 전자산업에서 정비 작업

- 전자산업에서 공정 설비 정비 작업⁴⁹⁾(이하 PM)은 공정의 원활한 실행, 장비의 무결성 유지, 시설의 안전을 보장하기 위한 중요한 활동이다. PM은 뜻하지 않은 고장을 방지하고 반도체 제조에 필요한 정밀도와 정확성을 보장하는 데 매우 큰 역할을 한다. 따라서 전자산업 등 모든 사업장에서 PM을 시행하고 있다.
- 본 가이드에서는 PM(정비)은 예방정비(PM)과 대응정비(Breakdown maintenance, BM)를 모두 포함하는 용어로 사용했다. 다음은 반도체와 OLED(OLED: Organic Light-Emitting Diode) 제조 공정 및 공정 지원 설비 정비 작업 대상을 개괄적으로 설명했다.

49) 일반적인 의미에서 정비는 예방 유지보수(Preventive maintenance, PM)와 대응정비(Breakdown or Corrective Maintenance, BM)으로 분류할 수 있다. PM은 장비 고장을 방지하고 지속적인 작동을 보장하기 위한 계획된 정비다. BM은 장비 고장이나 고장이 발생한 후 이를 해결하기 위한 정비다. 여기에는 결함이 있는 구성 요소를 수리하거나 교체하여 장비를 작동 상태로 복원하는 작업이다.

가) 반도체 제조 공정

(가) 공정 설비 유지보수(Process Maintenance)

- 반도체 제조 공정이 효율적이고 최적으로 운영될 수 있도록 정기적으로 점검하고 업데이트하는 작업이다. 여기에는 공정제어시스템 캘리브레이션(교정), 공정 파라미터 검증, 공정 도구 검사 및 청소, 펌프·히터 또는 냉각기와 같은 보조 공정 설비 장비 유지보수가 포함된다.

(나) 장비 유지보수(Equipment Maintenance)

- 반도체 제조에 사용되는 기계의 정기적인 검사, 청소, 수리 작업이다. 여기에는 이온주입기, 식각기, 포토리소그래피(Photolithography, 이하 포토라고 함) 장비, 증착기, 챔버 등의 유지보수가 포함된다.

(다) 시설 유지보수(Facility Maintenance)

- 반도체 공장의 물리적 인프라 유지보수 작업이다. 여기에는 HVAC(난방, 환기, 공조) 시스템 유지보수, 클린룸 표준 보장, 전원공급 시스템 유지보수, 스크러버(Scrubber, 세정탑)와 폐수처리 시설 등에 쓰이는 화학물질 배기·처리·폐기, 전기·소방 안전 시스템 유지보수, 시설의 구조적 건전성 검사 등이 포함된다.

(라) 안전 시스템 유지보수

- 모든 안전 시스템이 정상적으로 작동하는지 확인하는 작업이다. 여기에는 소화 방재 시스템, 가스와 액위 누출 감지 및 경보 시스템, 방사선 모니터, 비상구 표지판, 비상 세척과 세안 설비 등에 대한 정기 점검이 포함된다.

(마) 소프트웨어와 제어시스템 유지보수

- 제조 공정, 장비와 시설을 제어하고 모니터링하는데 사용하는 소프트웨어의 정기적인 업데이트와 유지관리 작업이다. 여기에는 제어시스템이 올바르게 작동하는지 확인하고, 소프트웨어를 최신 버전으로 업데이트 하며, 사이버 보안 위협을 확인하고, 데이터 백업시스템을 유지관리하는

작업이 포함된다.

(바) 유틸리티 유지보수

- 압축공기시스템, 진공 시스템, 정수 시스템, 가스 공급 시스템, 전기 시스템과 같은 유틸리티시스템을 유지보수하는 작업이다. 이러한 유틸리티는 다양한 프로세스에서 중요한 역할을 하며, 고장 또는 오작동이 일어나면 전체 운영(공정의 운전)이 중단될 수 있다.

나) OLED 공정

(가) 공정 설비 유지보수

- 증착 또는 인쇄 장비 보정과 세척, 입력 재료(유기화합물, 전극, 기판, 봉지재)의 품질 관리, 증착과 봉지 공정 설비의 유지관리가 포함된다. OLED 레이어에 결함이 생기지 않도록 매우 높은 청결도를 유지하는 것이 중요하다.

(나) 장비 유지보수

- OLED 제조에 사용되는 장비에는 진공증착기, 인쇄 가능한 OLED용 프린터, 패터닝용 리소그래피 기계, 캡슐화 기계, 테스트 장비 등이 있다. 이들 장비가 안정적으로 작동하고, 수율을 높이며, 수명을 길게 하려면 고장이나 사고를 예방하기 위한 유지보수가 필요하다.

(다) 시설 유지보수

- OLED 생산은 다른 전자산업 공정과 마찬가지로 클린룸 환경에서 이루어진다. 클린룸 유지관리, 습도와 온도 제어, HVAC 시스템의 정기적인 서비스는 시설 유지관리의 중요한 측면이다. 또한 스크리버와 폐수처리 시설 등 화학 폐기물 처리와 폐기 시설 유지보수도 포함된다.

(라) 안전 시스템 유지보수

- 소방 방재 시스템, 개인보호장비, 비상구, 화학물질 취급과 보관, 안전 장비의 정기 점검과 유지관리가 포함된다. 또한 OLED에 사용되는 유기화합물은 인체와 환경에 유해한 화학반응이 일어날 가능성이 높으므로,

이를 안전하게 취급하고 폐기하는 것도 포함된다.

(마) 소프트웨어와 제어시스템 유지보수

- OLED 제조에 사용되는 소프트웨어와 제어시스템의 정기적인 업데이트와 유지보수 작업이다. 증착 또는 인쇄 공정을 정확하게 제어하고, 신뢰할 수 있는 데이터를 수집하며, 시스템이 안전하게 작동하는 데 도움이 된다.

(바) 유틸리티 유지보수

- 진공 시스템, 불활성가스 공급 시스템, 전기 시스템과 같은 유틸리티시스템의 유지보수가 포함된다. OLED 제조 공정을 원활하게 운영하는 데 중요하다.

다) 전자산업 공정 설비 정비 작업 분류

- 반도체, LCD, OLED 제조 클린룸 공정 설비를 대상으로 이루어지는 다양한 정비 작업을 범주화하면 아래와 같다.
 - 클린룸 시설: 여과 시스템을 효과적으로 작동해 실내 작업공간을 청결하게 유지하기 위한 설비
 - 진공 설비: 진공 펌프와 챔버를 포함한 진공 시스템을 작동해 누출을 방지하기 위한 설비
 - 증착 장비: 화학기상증착(CVD), 물리기상증착(PVD), 원자층증착(ALD) 장비와 공정 설비의 성능을 유지하기 위한 설비
 - 식각 장비: 플라즈마 및 습식 화학식각 설비
 - 장비: 스테퍼나 스캐너(stepppers or scanners)와 같은 장비
 - 이온주입 장비: 이온주입기, 이온빔 소스, 이온빔 라인 등
 - 계측과 검사 장비: 주사전자현미경(SEM), 광학현미경, 원자힘현미경(AFM)과 같은 장비
 - 챔버와 급속 열처리(RTP; Rapid Thermal Processing) 시스템: 다양한 열처리 공정 설비에 사용되는 시스템

- 가스 및 화학물질 전달 시스템: 공정별로 사용되거나 부산물로 나오는
가스 및 화학물질을 안전하고 정확하게 전달하기 위한 설비. 누출 점
검, 밸브 유지보수, 순도 점검이 포함된다.
- 초순수 시스템: 물의 순도를 보장하기 위한 설비. 평상시 질소 충전과
정기적인 유지보수가 필요하다.
- 폐기물 관리 시스템: 반도체 제조 시 나오는 화학 폐기물과 고형 폐기
물을 포함한 다양한 유형의 폐기물을 안전하고 효율적으로 처리하는
설비. 가스 처리 설비인 스크리버, 폐수처리 시설 등이 포함된다.
- 자동화된 자재 취급 시스템(AMHS; Automated Material Handling
System): 웨이퍼 꾸러미(boom) 등을 운반하는 자동 시설을 원활하게
작동하는 시스템
- 공기조화(HVAC) 시설 등

정비 작업 시 발생하는 유해·위험 요인에 대한 정보는 유지보수 대상 공정 설
비의 시설, 장비, 기계 등을 정비하는 작업의 빈도, 방법 등에 따라 크게 달라질
수 있다. 가스, 산, 알칼리, 유기용제를 취급하는 설비의 수리, 조정, 점검 등은
해당 작업에 필요한 지식과 기술을 충분히 습득한 근로자가 하도록 한다.

(2) 전자산업 공정 설비 정비 작업과 관련된 주요 안전보건 위험

가) 감전과 극저주파 노출

- PM과 BM 모두 전기로 작동하는 장비나 그 근처에서 작업하는 경우가
많다. 유지보수를 시작하기 전에 장비의 전원을 Lock-Out/tag
out-Out 하지 않으면 감전의 위험이 있다. 또 극저주파 등 전자파에 노
출될 수 있다.

나) 화학물질 노출

- 유지보수 활동으로 인해 근로자가 각종 화학물질에 노출될 수 있다. 예
를 들어 반도체 또는 OLED 제조 공정에서 독성가스, 반응성 물질, 부
식성 물질 등에 노출될 수 있다. 공정에서 사용하고 남은 화학물질, 세

정 등에 사용하는 화학물질에 노출될 수도 있다.

다) 신체적 부상

- 정비 작업에서는 대부분 움직이는 기계, 장비 등을 다룬다. 이 과정에서 베임이나 타박상 같은 경미한 부상부터 압착이나 끼임과 같은 심각한 부상까지 다양한 신체적 부상을 입을 수 있다.

라) 추락 또는 낙상

- 근로자는 유지보수를 할 때 종종 높은 곳에서 또는 불편한 자세로 작업해야 하므로 떨어지거나 미끄러질 위험이 있다.

마) 밀폐공간 위험

- 유지보수 작업 시 밀폐된 공간에서 작업해야 하는 경우가 있다. 챔버, 챔버 등이 여기에 해당한다. 이때 질식, 유해가스 노출 또는 갇힐 위험이 있다.

바) 이온화방사선 노출

- 반도체, LCD, OLED 제조 공정 중 특정 공정 설비(이온주입 등)에서는 엑스레이 등 이온화 방사선이 나온다. 유지보수 근로자가 이온주입기와 같은 장비에서 나오는 이온화 방사선에 노출될 수 있다.

사) 화재와 폭발

- 특히 가연성 물질과 가연성가스를 사용하여 작업하거나 가연성 먼지가 있는 상태에서 유지보수를 할 때 화재나 폭발 위험이 있을 수 있다.

아) 인체공학적 위험

- 반복적인 동작을 하고 무거운 물건을 들거나 불편한 자세로 작업하면 근골격계질환이 생길 수 있다.

자) 열 스트레스(Heat Stress)

- 일부 유지보수 활동에는 온도가 높은 설비와 기계에 대한 유지보수나

더운 환경에서 하는 작업이 포함될 수 있으며, 이에 따라 열 스트레스나 화상을 입을 수 있다.

- 적절한 개인보호장비 사용, 적절한 잠금/태그아웃 절차 준수, 적절한 교육과 감독, 적절한 환기와 배기 시스템 구현, 기타 모든 해당 안전보건 규정 준수를 통해 위에서 언급한 안전보건 위험을 관리하고 줄일 수 있다. 또한 PM 일정을 잘 계획하면 BM의 필요성이 최소화되어, 계획되지 않은 유지보수 활동 중에 생길 사고 위험을 줄일 수 있다.

(3) 전자산업 공정 설비 정비 작업 안전보건 가이드 종합

가) 목적

- 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.

나) 적용 범위

- (가) 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.
- (나) 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.

다) 요약

전자산업 공정 설비 정비 작업은 공정에서 사용된 각 종 화학물질이 포함된 입자상 물질, 가스상 물질, 열, 전기 에너지 등에 노출될 수 있다. 화학물질 누출, 폭발, 질식, , 부상 등 잠재적 사고 위험도 있다. 전자산업 공정 설비 정비

작업을 안전하게 마치려면 아래와 같은 작업절차를 따른다. 본 안전보건가이드를 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 정비 작업 관련 부서와 협의해서 공정 설비, 화학물질 배관 등을 전기적으로 차단하여 잠그고(lock out)하고 표시(tag out)한 꼬리표를 달아 놓는다.
- 공정 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 때 발생할 수 있는 위험인자를 확인하고 통제할 수 있는 안전보건 조치를 취한다.
- 정비 작업과 비상 상황 때 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 비상 조치 사항을 확인하고 이해한다.
- 정비 작업에 필요한 개인보호장비를 착용한다. 호흡보호구는 방독또는 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. 밀폐 작업 등 높은 강도의 유해인자가 발생할 위험이 있는 정비작업에서는 송기 마스크(airline mask) 착용을 검토한다.
- 챔버, 탱크, 배관 등 밀폐 설비를 정비할 경우, 충분히 세정하고 퍼지하여

산소 농도, 온도, 기압, 유해가스 농도 등이 정비 가능한 상태가 되었는지 확인하고 기다린다. 챔버 등 커버를 열 때 열로부터 눈을 보호하기 위해 보안경을 착용한다.

2. 전자산업 공정 설비 정비 정비 작업 중 안전보건 조치 사항

- 챔버, 탱크, 배관 등을 열고 뚜껑(shield), 커버, 타깃판 등을 해체하고 부착할 때 안전조치를 취한다. 크레인, 호이스트, 리프트 등 위험한 기계나 기구를 이용할 경우 위험 기계기구에 적정한 기계 상태와 성능 점검, 운전자와 신호수 지정, 안전 구역 표시 등 철저한 안전 조치를 취한다.
- 일정 높이의 발판, 사다리 등 위에서 정비작업할 때 넘어짐, 추락 등에 주의해야 한다(그림 참조)
- 챔버, 탱크, 배관, 설비, 기계 등에서 먼지를 제거할 때 스크라버(scrubber)로 연결된 이동식 진공 배기 장치(덕트, 튜브 등)를 사용하여 먼지 확산 및 노출을 최소화한다. 에어건 사용은 제한하되 사용해야 한다면 배기장치와 병행해서 최소한으로 사용 한다(그림 참조).

3. 전자산업 공정 설비 정비 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

- 공정 설비 정비 작업을 마친 후 보호구를 착용한 채로 정비 작업공간을 깨끗하게 청소한다. 정비 작업 후 생긴 폐기물은 그 특성에 따라 적절히 분류하고 보관한 후 신속하게 처리한다.
- 관계 부서 및 관계자와 함께 전자산업 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	해당없음
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 작업 구역을 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?			
핵심 안전보건 교육을 받았는가?			
비상사태 발생 시 조치 사항을 알고 있는가?			
방진 또는 방독마스크 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, 작업 구역 통제 등 필요한 안전 조치를 취했는가?			

점검 항목

예

아니오

해당없음

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 치웠고, 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.

3) 전자산업 증착 공정 설비 정비작업

(1) 증착 공정 종류와 위험

가) 주요 증착 공정 원리와 종류

- 증착은 OLED 제조의 핵심 공정으로, 기판 위에 박막을 쌓는 작업이다 (Applications and Technology, 2010). OLED에 층을 증착하려면 각 층의 균일성과 품질을 보장하기 위한 정밀한 기술이 필요하다. 여러 층을 증착하는 데 사용할 수 있는 방법은 다양하며 각 방법에는 고유한 장단점이 있다. 사용되는 재료, 필요한 필름의 두께와 균일성, 생산 규모, 전체 제조 공정 등 여러 요인에 따라 증착 방법을 선택할 수 있다. 주요 증착 방법은 다음과 같다.

(가) 물리기상증착(Physical Vapor phase Deposition, PVD)

- 진공상태에서 소재를 가열하여 기화한 다음 그 증기가 기판에서 응축되어 박막을 형성하도록 하는 물리적 공정이다. OLED의 경우 유기층과 금속 전극을 증착하는 데 PVD(특히 열 증착)가 가장 일반적으로 사용된다. PVD는 다양한 물리적 공정을 지칭하는 광범위한 용어이다. PVD에서 일반적으로 사용하는 공정 원리와 방법은 다음과 같다.
 - 열 증착(또는 열 증발, Thermal Deposition or Thermal Evaporation): 진공증착이라고도 하며, OLED 생산에서 재료의 얇은 층을 증착하는 데 사용되는 일반적인 방법이다. 주로 유기층을 증착하는 데 사용된다. 도가니에 증착할 원료 물질인 유기화합물을 넣고, 챔버의 공기를 비워 진공상태로 만든다. 그리고 도가니에 전류를 통과시켜 도가니를 가열한다. 도가니가 특정 온도에 도달하면 원료 물질이 증발하기 시작한다. 원료 물질은 증발하면서 원자 또는 분자 단위로 바뀌어 모든 방향, 직선으로 챔버를 가로질러 이동하다가("평균 자유 경로"라는 속성), 차가운 기판 표면에 도달하면 달라붙어 기판 위에 박막을 형성한다. 도가니는 텅스텐과 같이 녹는점이 높은 재료로 만들어져, 원료 물

질을 증발시키는 데 필요한 고온을 견딜 수 있어야 한다.

- 스퍼터링(Sputtering): 널리 사용되는 방법 중 하나이다. 불활성기체 (일반적으로 아르곤)를 진공상태의 챔버에 넣고 이온화하여 고에너지 입자로 만들어 타깃 재료에 분사한다. 이때의 충격으로 타깃 재료에서 원자가 방출(또는 "스퍼터")되고, 이 원자(dislodged particles)는 직선으로 이동하여 기판에 부딪혀 응축되어 박막을 형성한다. 타깃 재료는 전극 증착을 위한 유기 재료나 금속과 같은 OLED 부품의 박막이다. 금속은 산화타이타늄(TiO_2 TIO), 몰리브덴, 알루미늄, 수은 등을 사용한다.

(나) 화학기상증착(Chemical Phase Deposition, CVD)

○ 전구체 가스가 기판 표면에서 반응하거나 분해되어 고체 필름을 형성하는 화학적 공정이다. 반도체 산업에서 유전체, 반도체, 금속을 포함한 다양한 필름을 증착하는 데 널리 사용된다. 그러나 OLED의 경우 CVD는 증착 방식으로 그리 많이 사용되지 않는다. 수분과 산소로부터 OLED를 보호하기 위한 캡슐화층과 같은 무기층 또는 장벽을 증착하기 위한 플라즈마 강화 CVD(PECVD)와 같은 변형된 형태로 사용된다.

- 열(Thermal) CVD: 전구체 가스를 섭씨 수백 도에서 섭씨 천 도 이상의 범위에서 고온으로 가열한다. 가열된 전구체 가스는 기판 표면에서 분해되거나 반응하면서 박막을 증착한다. 금속산화물이나 질화물과 같은 무기물질을 OLED 기기의 완충층, 투명전도성층, 캡슐화 재료로 증착하는 데 자주 사용된다.
- 플라즈마 강화 CVD(Plasma-Enhanced, PECVD): 플라즈마를 사용하여 전구체 가스에 추가 에너지를 제공함으로써, 전구체 분자를 분해하고 기판 표면에서의 반응을 촉진하는 데 도움을 주어 성능을 향상한다. 플라즈마는 가스 혼합물에 무선주파수(RF)나 마이크로파를 가하여 생성한다.
- 원자층증착(Atomic Layer Deposition, ALD): 원자 수준에서 박막

두께와 균일성을 정밀하게 제어할 수 있는 고도로 제어된 증착 기술이다. 기판을 교대로 전구체 가스에 노출해 자기 제한적인 표면 반응을 일으킨다. 반복 노출을 통해 필름 성장을 원자 수준에서 제어할 수 있으므로 우수한 적합성을 가진 초박막 층을 정밀하게 증착할 수 있다. 정공 수송층, 전자 수송층, 패시베이션층과 같은 유기 또는 무기 박막을 포함한 다양한 층을 증착하는 데 사용된다.

나) 증착 공정과 관련된 주요 안전보건 위험

- 증착 공정에 사용되는 공정 장비를 정비할 때 다양한 안전과 건강상의 위험이 발생할 수 있다. 대부분 공통적인 안전보건 위험이다. 이는 다음과 같다.
 - 파열: 챔버를 열기 전후에 올바르게 내부 압력을 바깥과 맞추지 않으면 파열과 같은 위험이 있다.
 - 신체적 위험: 챔버 뚜껑(lid)을 열고 타깃판 등 장비나 부품 등을 교체하는 과정에서 사용하는 기기로 인한 중대 재해 가능성이 있다. 특히 크레인을 이용할 때 위험이 더 크다.
 - 밀폐공간에 갇힘: 챔버는 밀폐공간 또는 반밀폐공간으로, 산소부족이나 유해 물질 중독이 일어날 수 있는 환경이다. 증착 기술에 따라 밀폐 정도는 다르지만, 기본적으로 제한된 환경에서 일하다가 갇힐 수 있다.
 - 고전압과 고온: 고온 챔버에서 작업할 때 챔버 설비를 충분히 식히지 않으면 화상을 입을 수 있다.
 - 미세먼지 노출: 챔버를 열고 부품을 분해하고 청소, 정비 등을 수행할 때 증착 공정에 사용된 각종 화학물질 등이 포함된 미세먼지에 노출될 수 있다. 미세먼지 성분은 증착 기술에 따라 달라진다.
 - 화학물질 노출: 챔버 안과 밖에서 부품을 세정할 때 사용하는 화학물질(IPA 등)에 노출될 수 있다.
 - 인체공학적 위험: 방착판 등 무거운 부품이나 장비를 손으로 들어 올리거나 옮기는 작업, 챔버 안에서 불편한 자세로 챔버 표면을 사포나

걸레 등의 도구를 이용하여 세정하고 정비하는 작업 등에서 반복적인 동작을 하고 불편한 자세로 작업하는 경우 근골격계질환이나 부상이 생길 수 있다.

- 중독 위험: 설비 결함이나 소통 오류 등으로 정비 작업 중 유해화학물질이 유입되어 중독이나 질식 위험이 있다.
- 감전 위험: 설비의 전원 차단을 위한 케이블 분리 시 감전 위험이 있다.
- 떨어짐, 추락 위험: 챔버 구조물에 걸려 넘어질 위험이 있고, 챔버 상부 이동이나 진입을 위한 사다리 사용 중 추락(떨어짐) 위험이 있다.

(2) 전자산업 증착 공정 정비 작업 안전보건 가이드 종합

가) 목적

- 전자산업 공정 중 증착 설비 정비 작업에 대한 안전작업절차를 제공하여 작업 중 발생할 수 있는 안전보건 유해·위험 요인 노출로 인한 근로자의 부상과 건강 영향을 예방한다.
- 전자산업 공정 중 증착 설비 정비 작업을 안전하게 수행함으로써 사고에 따른 회사의 손실을 최소화하고 원활한 생산활동이 이루어지도록 한다.

나) 적용 범위

- (가) 본 가이드는 전자산업 생산 공정 중 증착 공정의 주요 설비와 부속 설비를 정비할 때 안전보건 유해·위험 요인에 대한 노출을 최소화하여 안전보건 위험을 관리하는 데 적용한다.
- (나) 증착 공정별로 발생하는 구체적인 안전보건 위험을 관리하기 위한 가이드는 필요할 경우 따로 개발할 필요가 있다.
- (다) 본 가이드는 다양한 증착 공정을 이용하는 여러 산업에서 안전보건 위험을 관리하는 데 응용할 수 있다. 증착 기술은 아래와 같이 많은 제조 산업에서 박막과 코팅 공정에 널리 사용되기 때문이다(Vinay Kadekar et al, 2014).

- 디스플레이와 조명 산업: LCD, OLED 등 디스플레이 제조에 광범위하게 사용된다. LED와 OLED 같은 조명 장치 생산에도 사용된다.
- 반도체산업: 집적회로, 마이크로칩, 박막트랜지스터(TFT) 제조에 광범위하게 사용된다.
- 전자산업: 인쇄회로기판(PCB), 저항기, 커패시터, 인터커넥트 등의 전자부품 생산에 활용된다.
- 광학 및 포토닉스 산업: 카메라·렌즈·디스플레이·레이저·광섬유에 사용되는 광학 코팅, 박막 필터, 반사 방지 코팅, 기타 광학 부품을 만드는 데 중요한 역할을 한다.
- 태양에너지 산업: 박막태양전지, 태양전지 패널, 기타 광전지 장치 생산에 사용 된다.
- 자동차산업: 엔진 부품, 센서, 헤드라이트와 같은 부품에 부식 방지용 코팅, 장식 마감, 기능성 코팅을 증착하는 등 다양한 용도로 사용된다.
- 의료기기산업: 임플란트, 스텐트, 카테터, 진단 기기에 생체적합성 코팅, 약물 용출 코팅, 기타 기능성 코팅을 만드는 데 사용된다.
- 항공우주 및 방위 산업: 항공기 부품, 로켓 노즐, 레이더 시스템 및 센서의 보호 코팅, 열 차단 코팅, 기타 기능성 코팅을 생산하는 데 매우 중요한 역할을 한다.

다) 요약

증착 공정 설비 정비 작업은 증착 공정에서 사용된 각 종 화학물질이 포함된 입자상 물질, 가스상 물질, 열, 전기 에너지 등에 노출될 수 있다. 화학물질 누출, 폭발, 질식, 부상 등 잠재적 사고 위험도 있다. 증착 공정 설비 정비 작업을 안전하게 마치려면 아래와 같은 주요 작업 절차를 따른다. 본 안전보건가이드를 바탕으로 공정, 설비, 정비 작업 특성에 따른 구체적인 조치 사항을 반영하여 사용할 것을 권장한다.

1. 증착 공정 설비 정비 작업 전 안전 보건 조치 사항

- 회사의 규정에 따라 증착 설비 정비 작업 허가를 받는다.
- 정비 작업 관련 부서와 협의해서 공정 설비, 화학물질 배관 등을 전기적으로 차단하여 잠그고(lock out)하고 표시(tag out)한 꼬리표를 달아 놓는다.
- 정비 작업공간을 주변과 격리하고, 정비 구역 표시하며, 출입을 제한한다. 크레인 등 위험한 기계나 기구를 사용할 경우 운전자와 신호수를 지정하고 적절한 위치에 배치한다.
- 정비 작업 때 발생할 수 있는 위험인자를 확인하고 통제할 수 있는 안전보건 조치를 취한다.
- 정비 작업과 비상 상황 때 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 비상 조치 사항을 확인하고 이해한다. 정비 팀원간 안전한 작업요령 등도 확인한다.
- 정비 작업에 필요한 개인보호장비를 착용한다. 호흡보호구는 방독 또는 마스크 또는 고성능여과(HEPA) 마스크를 착용한다. 챔버를 열 때 열로부터 눈을 보호하기 위해 보안경을 착용한다.
- 증착 챔버를 충분히 세정하고 퍼지하여 산소 농도, 온도, 기압, 유해가스 농도 등이 정비 가능한 상태가 되었는지 확인하고 기다린다.

2. 증착 공정 설비 정비 작업 중 안전 보건 조치 사항

- 증착 챔버를 열고 뚜껑(shield), 커버, 타깃판 등을 해체하고 부착할 때 안전 조치를 취한다. 크레인, 호이스트, 리프트 등 위험한 기계나 기구를 이용할 경우 위험 기계기구에 적정한 기계 상태와 성능 점검, 운전자와 신호

수 지정, 안전 구역 표시 등 철저한 안전 조치를 취한다.

- 설비에서 기계, 장비, 소재 등에 대해 교체, 부착, 세정, 센서 보정 등 정비와 세정 작업을 안전하게 수행한다.
- 일정 높이의 발판, 사다리 등 위에서 정비작업할 때 넘어짐, 추락 등에 주의해야 한다.
- 설비, 기계 등에서 먼지를 제거할 때 스크라버(scrubber)로 연결된 이동식 진공 배기 장치(덕트, 튜브 등)를 사용하여 먼지 확산 및 노출을 최소화한다. 에어건 사용은 제한하되 사용해야 한다면 배기 장치와 병행해서 최소한으로 사용 한다.

3. 증착 공정 설비 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

- 증착 설비 정비 작업을 마친 후 보호구를 착용한 채로 정비 작업공간을 깨끗하게 청소한다. 정비 작업 후 생긴 폐기물은 그 특성에 따라 적절히 분류하고 보관한 후 신속하게 처리한다.
- 관계 부서 및 관계자와 함께 증착 설비 정비 작업을 마치고 안전 점검을 마친 후 증착 공정을 다시 작동하고, 공정이 원활하게 유지되는지 관련 변수를 점검한다. 최적의 상태인지 확인하고 정비 작업을 마친다.
- 챔버 정비 이력 카드에 수행한 정비 작업 종류, 정비 날짜, 정비 근로자, 교체한 부분, 발생한 문제 등의 주요 정비 내역을 기록하고 보존한다.

4. 증착 공정 설비 정비 작업 주요 안전보건 점검 리스트

1) 정비 작업 전과 작업 동안 안전보건 점검 사항

점검 항목	예	아니오	해당없음
회사 규정에 따라 정비 작업을 위한 안전작업허가서를 받았는가?			

점검 항목	예	아니오	해당없음
정비 작업 내용을 구체적으로 지시받고, 그 내용을 알고 있는가? 또한 정비 팀원들간의 안전한 작업 요령도 확인했는가 ?			
정비 작업에 필요한 도면, 운전 절차서 등을 검토했는가?			
관계 부서와 공정 운전 중단, 유해·위험 물질 유입 차단 및 제거, 전기 차단, 압축공기 차단 등의 안전조치를 했는가?			
정비 대상 챔버, 장비, 기계 등을 확인했는가?			
정비 작업 구역을 설정하고 접근 제한 조치를 하였는가?			
챔버, 배관 등의 내부 압력 제거, 유해·위험 물질 제거 등의 안전 조치를 취했는가?			
핵심 안전보건 유해·위험 요인을 확인했으며, 사고 영향 범위를 알고 있는가(주요 유해·위험인자 위험성 평가 실시)?			
정비 도구 등을 챙기고 성능을 확인하였는가 ?			
배기 장치, 세척·세안 설비, 보호구 등의 작동 성능을 확인했는가?			
비상사태 발생 시 조치사항 등 핵심 안전 보건 교육을 받았는가?			
방진 또는 방독마스크 등 정비 작업에 필요한 개인보호구를 착용했는가?			
정비 작업 공간을 지속적으로 퍼지해서 유해가스를 제거하고, 주기적으로 산소와 유해가스의 농도를 측정하고 있는가?			
크레인, 호이스트, 리프트 등 위험기계기구를 사용한 경우 운전자와 신호수 지정, 작업 구역 통제 등 안전 조치를 취했는가?			
설비, 기계 등에서 먼지를 제거할 때 스크라버로 연결된 이동식 진공 배기 장치(튜브)를 사용하고, 에어건 사용은 제한하거나 최소한인가 ?			

점검 항목	예	아니오	해당없음
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, 볼트 너트 등을 치웠고, 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?			

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

4) 전자산업 식각 공정 설비 정비작업

(1) 식각 공정 개요

가) 공정 원리

- 식각(etching)은 반도체 제조에서 중요한 공정으로, 집적회로를 형성할 패턴을 만들기 위해 반도체(일반적으로 실리콘 웨이퍼) 표면에서 물질을 선택적으로 제거하는 데 사용된다. 이 공정은 실리콘 웨이퍼에 화학적 또는 물리적 약제를 발라 패턴 마스크 층으로 보호되지 않는 물질을 제거하는 방식으로 진행된다.
- 식각은 반도체 소자의 집적회로를 구성하는 작고 복잡한 패턴을 정확하게 생성하는 공정이다. 반도체 제조에 사용되는 식각 공정에는 크게 습식 식각과 건식 식각이 있다. 각 방법에는 장단점이 있으며, 최선의 선택은 제조되는 반도체 장치의 특정 요구 사항에 따라 달라진다.

(가) 습식 식각

- 전통적인 식각 방법이며, 액체 화학물질을 사용하여 물질을 제거하는 방법이다. 웨이퍼를 식각할 재료와 화학적으로 반응하는 용액에 담가 용해하여 제거한다. 반응 속도는 식각 용액의 농도와 온도에 따라 달라진다.
- 한 번에 많은 웨이퍼를 처리할 수 있어 효율이 높지만, 건식 식각에 비해 식각 공정을 제어하기 어려울 수 있다.

(나) 건식 식각

- 가스 또는 플라즈마(이온화된 가스)를 사용하여 물질을 제거하는 방법이다. 일반적으로 진공 챔버에서 수행한다. 더 복잡하고 비용이 많이 들지만, 방향성과 선택성 측면에서 습식 식각보다 공정을 더 잘 제어할 수 있어 최신 반도체 소자 제조에 더 적합하다.
- 건식 식각의 두 가지 주요 유형은 물리적 스퍼터링과 화학적 건식 식각이다.

- 물리적 스퍼터링(또는 이온 밀링): 고에너지 이온을 웨이퍼로 쏘아 표면에서 원자를 물리적으로 제거(dislodging)한다.
- 화학적 건식 식각(또는 플라즈마 식각): 반응성 이온을 웨이퍼로 쏘아 표면의 제거할 물질과 화학반응을 일으킨다. 그러면 제거할 물질이 기체로 휘발되어 쉽게 제거된다.
- 반응성이온식각(Reactive Ion Etching, RIE): 화학적 건식 식각의 한 유형으로, 전기장을 가함으로써 반응성 이온의 방향성을 높이는 방법이다. 이를 통해 더 높은 수준의 수직으로 식각하고, 공정을 더 잘 제어할 수 있다.

나) 식각 공정 사용 산업과 공정

- 식각 공정은 다양한 산업과 공정에서 널리 사용되며, 종종 재료를 패턴화, 세척 또는 성형하는 방법으로 사용된다. 식각 공정을 사용하는 주요 산업 및 공정은 다음과 같다.

(가) 반도체 산업

- 식각을 사용하는 주요 산업으로, 마이크로전자장치를 만드는 데 필수적인 공정이다. 식각은 집적회로⁵⁰⁾를 만들기 위해 실리콘과 기타 재료의 모양과 패턴을 만드는 데 사용된다.

(나) 인쇄회로기판(PCB) 제조

- 인쇄회로기판(Printed Circuit Board, PCB)⁵¹⁾에 전도성 경로, 패드 등을 만드는 데 사용된다. 식각을 통해 보드에서 불필요한 구리를 제거

50) 집적회로(Integrated Circuit)는 실리콘과 같은 반도체 소재의 작은 칩에 전자회로를 집적한 집합체이다. 수많은 트랜지스터를 작은 칩에 통합하는 것은 개별 전자부품을 사용하여 회로를 수동으로 조립하는 것보다 큰 발전이다. 트랜지스터는 전자신호와 전력을 증폭하거나 전환하는 반도체 장치이다. 트랜지스터는 현대 전자장치의 기본 구성 요소이며 신호 증폭, 전기신호 조절, 스위칭과 같은 애플리케이션에 일반적으로 사용된다.

51) 인쇄회로기판(PCB)은 전자부품을 장착할 수 있는 물리적 플랫폼과 부품 간의 전기적 상호작용을 위한 수단을 제공하여 기능 단위 또는 '회로'를 형성한다. 전도성 전기적 연결 배선이 인쇄되거나 식각된 비전도성 재료로 만들어진 기판이다. 전기적 배선은 트랜지스터, 저항기, 집적회로와 같은 보드의 다양한 구성 요소를 연결하여 이들 간의 전기 및 신호 흐름을 원활하게 한다. 보드 자체는 일반적으로 유리섬유 또는 플라스틱과 같은 재료로 만들어진다. 얇은 선이나 전도성 물질(보통 구리)의 흔적을 원하는 회로 패턴으로 보드에 식각하거나 인쇄한다.

하여 회로 연결을 위해 원하는 구리 패턴을 남긴다.

(다) 미세 전자 기계 시스템(Microelectromechanical Systems, MEMS)

- 미세 제조 기술을 사용하여 만든 소형화된 기계 및 전기 기계 요소이다. 식각은 실리콘 또는 기타 재료로 작은 구조를 만드는 데 사용된다.

(라) 태양전지 제조

- 광전지를 만드는 과정에서 특히 실리콘 표면을 텍스처링하여 빛의 흡수율을 높이는 데 사용된다.

(마) 유리 산업

- 유리 식각은 유리의 특정 부분을 연마하거나 화학적으로 깎아 내어 디자인을 만드는 인기 있는 장식 기법이다

(바) 금속 가공과 보석 제작

- 보석에 디자인을 만드는 것부터 금속 부품에 마킹을 하는 것까지 다양한 목적으로 금속 세공에 사용된다. 이 공정에는 산이나 매염제를 사용하여 금속 표면의 보호되지 않은 부분을 절단하여 디자인을 만드는 과정이 포함된다.

(사) 항공우주산업

- 터빈 블레이드, 연료 인젝터와 같은 부품 제조에 자주 사용된다. 부품 마킹에도 사용된다.

(아) 자동차산업

- 다양한 자동차 부품 제조와 유리 및 기타 부품의 장식용 식각에 사용된다.

(자) 생명공학

- 약물전달시스템 및 화학합성과 같은 다양한 응용 분야에 사용되는 미세 유체장치를 만드는 데 사용된다.

위에 예로 든 것은 식각을 사용하는 많은 산업과 공정의 몇 가지 예에 불과하다. 식각은 제조와 생산의 다양한 분야에 적용되는 다목적 공정이다.

다) 식각 공정별 주요 안전보건 위험

(가) 습식 식각

○ 습식 식각에는 부식성이 강하고 독성이 있는 화학물질을 사용한다.

■ 화학물질 노출

작업자는 흡입, 피부 접촉을 통해 유해한 화학물질에 노출될 수 있다. 예를 들어, 습식 식각에 자주 사용되는 불산은 올바르게 취급하지 않으면 심각한 화상과 전신 독성을 유발할 수 있다. 불산에 만성적으로 노출되면 암 발생 위험도 있다.

■ 안전사고 위험

화학물질이 흐르거나 튀면 부상을 입을 수 있다. 대량의 화학물질을 보관하고 취급할 때 화학물질 누출과 노출의 위험이 있다

■ 환경적 위험

사용한 식각액을 폐기할 때는 환경오염을 방지하기 위해 적절한 처리와 폐기 조치가 필요하다.

(나) 건식 식각

○ 건식 식각은 가스 또는 플라즈마를 사용하며, 적용되는 건식 식각 공정의 유형에 따라 위험 요인이 달라진다.⁵²⁾

■ 화학적 건식 식각과 반응성 이온 식각

이 공정에는 독성이나 부식성이 있는 반응성 가스를 사용한다. 가스 누출이 발생하거나 유지보수 및 문제 해결 절차 중에 작업자가 가스에 노출될 수 있다. 또한 반응 부산물은 위험할 수 있으므로 적절한 취급

52) 플라즈마가 생성되면 주로 전자기 방사선의 형태로 다양한 유형의 방사선이 부산물로 생성될 수 있다. 방출되는 방사선의 유형은 주로 사용되는 가스와 플라즈마 생성 조건에 따라 달라진다. 부산물로 발생할 수 있는 주요 방사선은 자외선과 약한 엑스레이 등이다. 매우 높은 온도, 고밀도 플라즈마, 상당한 양의 전기장 또는 자기장이 있는 조건에서는 약한 엑스레이가 발생할 가능성이 있다. 플라즈마가 이러한 유형의 방사선을 생성할 수 있지만, 모든 플라즈마가 모든 유형의 방사선을 생성하는 것은 아니다. 플라즈마가 생성되는 조건, 사용되는 가스의 종류, 에너지 투입량 등이 모두 생성되는 방사선 유형과 강도를 결정한다.

과 폐기가 필요하다.

■ 물리적 스파터링

이 공정에서는 고에너지 이온과 플라즈마를 사용하기 때문에 물리적 위험이 있다. 플라즈마에서 나오는 방사선은 눈에 해를 끼칠 수 있으며(광각막염 또는 ‘용접기 섬광’), 열화상을 유발할 수 있다. 적절한 차폐막과 장갑, 보안경과 같은 개인보호장비(PPE)를 사용하는 것이 필수적이다.

(다) 습식 및 건식 식각 공통 위험

- 인체공학적 위험: 반복적인 동작, 어색한 자세, 무거운 장비나 화학물질이 담긴 용기를 다룰 때 부상이 발생할 수 있다.
- 화재 및 폭발 위험: 식각에 사용되는 일부 화학물질과 가스는 인화성 또는 반응성이 있으므로 화재나 폭발을 방지하기 위해 특별한 취급 및 보관 절차가 필요하다.

라) 전자산업 식각 공정 설비 정비 작업 안전보건 가이드 종합

(가) 목적

- 전자산업 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.
- 전자산업 식각 공정 설비 정비 작업을 안전하게 수행함으로써 사고에 따른 회사의 손실을 최소화하고 원활한 생산활동이 이루어지도록 한다.

(나) 적용 범위

- 본 가이드는 식각 공정의 주요 설비와 부속 설비를 정비할 때 안전보건 유해·위험 요인에 대한 노출을 최소화하여 안전보건 위험을 관리하는데 적용한다.
- 식각 공정별로 발생하는 구체적인 안전보건 위험을 관리하기 위한 가이드는 필요할 경우 따로 개발할 필요가 있다.

- 본 가이드는 다양한 식각 공정을 이용하는 반도체 등 여러 전자산업에서 안전보건 위험을 관리하는 데 응용할 수 있다. 식각 기술은 아래와 같이 많은 제조 산업에서 박막과 코팅 공정에 널리 사용되기 때문이다.

(다) 요약

식각 공정 설비의 정비 작업은 식각 공정에서 사용된 각 종 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 안전보건가이드를 바탕으로 식각 공정 종류, 설비, 정비 작업 특성에 따른 구체적인 조치 사항을 반영하여 사용할 것을 권장한다.

1. 식각 공정 설비의 정비 작업 전 안전보건 조치 사항

- 회사의 규정에 따라 식각 공정 설비 정비 작업 허가를 받는다.
- 정비 작업 관련 부서와 협의해서 공정 설비, 화학물질 배관 등을 전기적으로 차단하여 잠그고(lock out)하고 표시(tag out)한 꼬리표를 달아 놓는다.
- 작업공간을 주변과 격리하고, 정비 구역을 표시하며, 출입을 제한한다. 특히 크레인 등 위험한 기계나 기구를 사용할 경우 운전자와 신호수를 지정하고 적절한 위치에 배치한다.
- 정비 작업 때 발생할 수 있는 위험인자를 확인하고 통제할 수 있는 안전보건 조치를 취한다.
- 정비 작업과 비상 상황 때 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 비상 조치 사항을 확인하고 이해한다.
- 정비 작업에 필요한 개인보호장비를 착용한다. 호흡보호구는 방독 또는 마스크 등을 착용한다. 식각 챔버를 열 때 열로부터 눈을 보호하기 위해 보안

경을 착용한다.

- 식각 챔버를 충분히 세정하고 퍼지하여 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 안전 조치를 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 위에서 정비작업할 때 넘어짐, 추락 등에 주의해야 한다(그림 참조)
- 설비, 기계 등에서 먼지를 제거할 때 스크라버(scrubber)로 연결된 이동식 진공 배기 장치(덕트, 튜브 등)를 사용하여 먼지 확산 및 노출을 최소화한다. 에어건 사용은 제한하되 사용해야 한다면 배기 장치와 병행해서 최소 한으로 사용 한다(그림 참조).

3. 식각 공정 설비의 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

- 식각 설비의 정비 작업을 마친 후 보호구를 착용한 채로 정비 작업공간을 깨끗하게 청소한다. 정비 작업 후 생긴 폐기물은 그 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.
- 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

점검항목	예	아니오	해당없음
회사 규정에 따라 정비 작업을 위한 안전작업허가서를 받았는가?			
정비 작업 내용을 구체적으로 지시받고, 작업 범위 및 내용을 알고 있는가?			
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 접근제한 조치를 했는가?			
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·위험인자 위험성 평가 실시)?			
정비 도구 등을 챙기고 성능을 확인하였는가 ?			
배기 장치, 세척·세안 설비, 보호구 등의 작동 성능을 확인했는가?			
핵심 안전보건 교육을 받았는가?			
비상사태 발생 시 조치사항 등 핵심 안전 보건 교육을 받았는가?			
방진 또는 방독마스크 등 정비 작업에 필요한 개인보호구를 착용했는가?			
챔버, 탱크 등 정비 대상 공간을 지속적으로 퍼지해서 열, 유해가스, 먼지 등을 제거했는가?			

점검항목	예	아니오	해당없음
크레인, 호이스트, 리프트 등 위험기계기구를 사용한 경우 운전자와 신호수 지정, 작업 구역 통제 등 안전 조치를 취했는가?			
설비, 기계 등에서 먼지를 제거할 때 스크라버로 연결된 이동식 진공 배기 장치(튜브)를 사용하고, 에어건 사용은 제한하거나 최소한인가 ?			
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

점검항목	예	아니오	해당없음
보호구를 착용하고 폐기물을 안전하게 수거하고 처리했는가?			
정비 작업 도구, 볼트, 너트 등을 치웠고, 챔버 설비가 적절한 작동 상태에 있는지 확인했는가?			
정비 작업에 사용된 부품 등은 재질, 강도, 규격 등이 도면에서 요구하는 합당한 정품을 사용하였는가?			
기밀시험을 실시했는가?			
공정을 재가동하고 공정 테스트를 완료했는가?			
회사가 정한 규정과 양식에 따라 주요 정비 내역을 기록했는가?			
식각 공정 설비의 정비 중 추가로 기록해야 할 사항이 있다면 써 주세요.			

5) 반도체 이온주입 공정 설비 정비작업

(1) 반도체 제조 공정 개요

가) 공정 원리

- 반도체 제조공정(fabrication, 팹)은 실리콘 웨이퍼에 집적회로를 만드는 과정을 의미한다. 이 공정에는 여러 단계가 포함되며, 각 단계는 최종 제품의 복잡성과 기능을 추가한다. 아래에 단순화한 주요 반도체 공정을 설명하였다.

(가) 웨이퍼(기판, Substrate) 준비

- 단결정 실리콘 잉곳을 성장시킨 다음 얇게 절단하여 기판이라는 순수 실리콘 웨이퍼를 만든다.

(나) 산화(Oxidation)

- 실리콘 웨이퍼 표면을 용광로에서 산화시켜 이산화규소(SiO_2)의 얇은 층을 만든다. 이 층은 트랜지스터에서 절연체와 게이트 산화물 역할을 한다.

(다) 포토리소그래피(Photolithography)

- 포토레지스트라는 빛에 민감한 물질로 실리콘 웨이퍼를 코팅한 다음, 원하는 패턴이 있는 마스크를 통해 자외선에 노출한다. 이렇게 하면 포토레지스트가 변경되고 남은 포토레지스트가 제거되어 패턴 층(레이어)이 남는다. 집적회로의 모양을 만드는 공정이다.

(라) 식각(에칭, Etching)

- 실리콘 웨이퍼를 화학물질(습식 식각)이나 플라즈마(건식 식각)에 노출한다. 이렇게 하면 포토레지스트가 있는 부분을 제외한 나머지 부분이 부식되어 패턴 층 부분이 남는다.

(마) 도핑(Doping)

- 실리콘 웨이퍼에 도펀트(dopants)라는 불순물을 넣어 실리콘 웨이퍼의

유형을 p형(양극)에서 n형(음극)으로 변경하는 등 특성을 수정한다. 이온 주입(Ion Implantation)이나 확산(Diffusion) 공정을 통해 수행한다.

(바) 증착(Deposition)

- 절연체, 도체, 반도체 층과 같은 다양한 층을 실리콘 웨이퍼에 증착한다. 화학기상증착(Chemical Vapor Deposition, CVD), 물리기상증착(Physical Vapor Deposition) 등이 있다.

(사) 금속화(Metallization)

- 집적회로의 여러 구성 요소를 서로 연결하는 금속 인터커넥트를 만든다. 이를 통해 층과 층 사이의 전기적 특성을 연결한다.

(아) 평탄화(Planarization)

- 증착된 실리콘 웨이퍼의 고르지 않은 표면을 매끄럽게 다듬는다. 일반적으로 화학적 기계 연마(Chemical Mechanical Polishing, CMP) 공정으로 수행한다.

(자) 테스트와 검사

- 회로가 집적된 실리콘 웨이퍼에 결함이 있는지 육안 검사, 전기 테스트 등을 통해 검사한다.

(차) 다이싱(Dicing)과 포장

- 마지막으로 실리콘 웨이퍼를 개별 칩인 개별 다이로 절단한다. 그리고 각 다이를 칩 캐리어에 포장하여 칩을 보호하고 회로 기판에 연결할 수 있도록 한다.
- 위 과정들은 동일한 웨이퍼에서 여러 번 반복하여 최종 집적회로를 형성하기 위해 상호작용하는 여러 회로 층을 생성한다. 전체 공정은 온도, 청결도, 빛과 화학물질에 대한 노출을 매우 정밀하게 제어해야 하므로 클린룸으로 알려진 고도로 통제된 환경에서 이루어진다. 여기서 설명한 공정은 매우 단순화한 개요이며, 실제 프로세스는 수백 개의 단계로 구성되고 완료하는 데 몇 주 또는 몇 달이 걸릴 수 있다.

(2) 이온주입 도핑(doping) 공정 원리와 주요 안전보건 유해·위험 요인

가) 이온주입 공정 종류

- 반도체 제조에서 도핑은 도펀트라는 불순물 이온을 추가하는 공정이다. 이를 통해 반도체 재료(일반적으로 실리콘)의 부도체에 전기적 특성을 부여하여 변경한다. 도핑의 주요 방법으로는 확산과 이온주입이 있다.

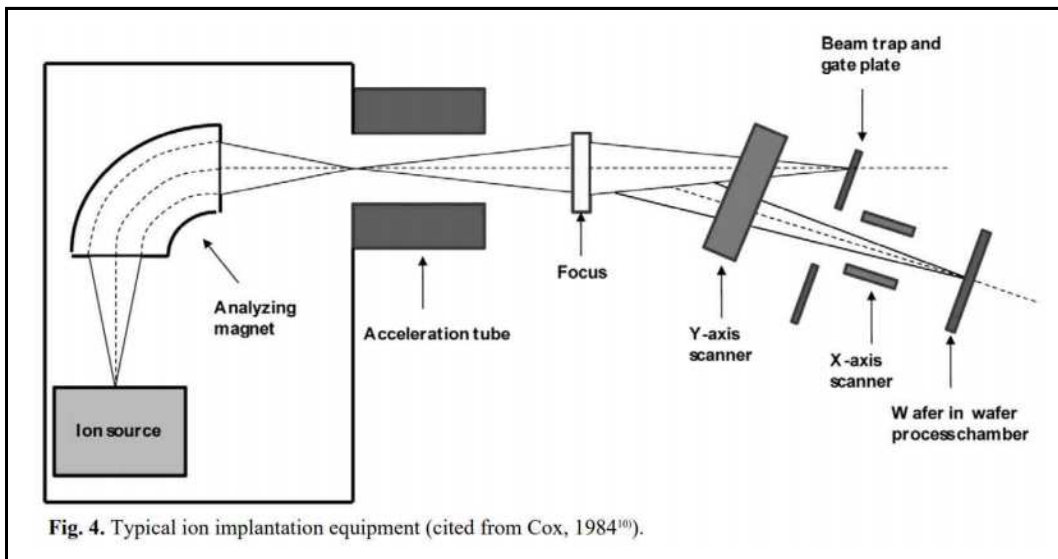
(가) 확산(Diffusion)

- 실리콘 웨이퍼를 고온으로 가열하고 원하는 도펀트가 포함된 제어된 대기(공기)에 놓는 공정이다. 그러면 도펀트가 고농도 영역(대기)에서 저농도 영역(실리콘 웨이퍼)으로 확산하여 실리콘 웨이퍼에 주입된다. 확산은 두 단계로 진행된다.
- 첫 번째는 전착(Predeposition)으로, 도펀트를 실리콘 웨이퍼에 넣는다. 두 번째는 도펀트 이온 주입으로 실리콘 웨이퍼를 고온으로 가열하여 도펀트를 실리콘 웨이퍼에 깊숙이 밀어 넣는다. 도펀트가 침투하는 깊이와 실리콘 웨이퍼 내 농도는 공정의 온도와 지속 시간에 따라 달라진다. 확산은 단순성과 신뢰성으로 인해 널리 사용되어 왔지만, 이온주입에 비해 도펀트 프로파일에 대한 정밀한 제어가 어려운 단점이 있다. 그러나 특정 특성이 유리한 응용 분야에서는 여전히 사용될 수 있다.

(나) 이온주입(Ion Implantation)

- 도펀트를 이온화한 다음 전기장에서 가속하여 실리콘 웨이퍼에 직접 주입하는 공정이다. 주입된 이온의 에너지와 선량(단위면적당 이온 수)을 조정하여 주입 깊이와 도펀트 농도를 정밀하게 제어할 수 있는 장점이 있다.
- 그러나 실리콘의 결정격자 구조에 손상을 입히므로 후속 어닐링(제어 가열)을 통해 복구해야 한다. 이온주입은 도핑 공정에서 더 큰 제어와 정밀도를 제공하기 때문에 대부분의 최신 반도체 제조 공정에서 선호한다. 주요 과정은 다음과 같다(아래 그림 참조).

- 이온화(Ionization): 일반적으로 전자를 쏘아(bombarding) 도펀트 재료를 이온화한다.
- 가속(Acceleration): 이온화된 도펀트를 고압 전기장으로 가속하여 실리콘 웨이퍼로 보낸다.
- 주입(Implantation): 가속된 이온을 실리콘 웨이퍼의 표면을 관통하도록 하여 주입한다.



[그림 III-62] 전형적인 이온주입 공정 모식도(박동욱 등, 2011)

(3) 이온주입 공정별 주요 안전보건 유해·위험 요인(hazards)

가) 확산

- 고온: 확산 공정은 고온에서 작동한다.
- 독성가스: 확산 공정에 사용되는 가스는 독성, 인화성, 폭발성일 수 있다. 예를 들어, 포스핀(PH₃), 아르신(AsH₃), 삼불화붕소(BF₃)는 독성과 인화성이 강한 도펀트 가스이다.
- 부식성 물질: 확산과 관련된 세척 및 식각 공정에 사용되는 화학물질 중

에는 부식성이 강한 물질이 많다. 예를 들어, 불산(HF)은 심각한 화상을 유발할 수 있으며, 흡입하면 위험하다.

나) 이온주입

- 방사선: 고압전기 시스템에 의한 이온주입 과정에서 엑스레이가 발생한다.
- 고전압: 이온주입 장비는 고전압에서 작동하므로 잠재적인 전기적 위험이 발생할 수 있다.
- 독성 및 반응성 물질: 비소, 붕소와 같이 이온주입에 사용되는 일부 도펀트는 독성이 있다. 이러한 원소가 이온화되면 반응성이 있고 위험할 수 있다.

(4) 이온주입 공정 안전보건 유해·위험 요인

가) 공정 운전자

- 이온주입은 반도체 제조의 필수적인 공정이지만, 운전자에게는 몇 가지 잠재적인 건강과 안전 위험이 수반된다. 이온주입 공정 작업자가 노출될 수 있는 주요 안전보건 위험은 다음과 같다.
 - 엑스레이: 고압전기 시스템에 의한 이온주입 과정에서 엑스레이가 발생한다. 일반적으로 이온주입기의 설계에 차폐 장치가 통합되어 엑스레이를 차단하지만, 누출이나 오작동으로 인해 작업자가 위험에 노출될 수 있다.
 - 고전압: 이온주입기는 이온을 가속하기 위해 고전압으로 작동한다. 작업자에게 극저주파 자기장 노출은 물론 감전 위험이 발생할 수 있다.
 - 독성 화학물질 노출: 이온주입에 사용되는 일부 도펀트 물질은 독성이 강하다. 이러한 독성물질을 부적절하게 취급하거나 누출 또는 유출이 발생할 경우 작업자가 노출될 수 있다. 예를 들어 비소는 독성이 강하고, 삼불화붕소와 포스핀은 독성과 반응성이 모두 강하다.
 - 기계적 위험: 이온주입 장비에는 다양한 움직이는 부품이 포함되어 있어 올바르게 취급하지 않으면 신체적 부상을 입을 수 있다. 또한 장비

를 부적절하게 취급하거나 유지보수를 하면 무거운 장비나 부품으로 인한 부상으로 이어질 수 있다.

- 화학 폐기물: 이온주입 과정에서 발생하는 화학 폐기물의 폐기와 취급을 올바르게 하지 않으면 노출 위험이 있다.

나) 정비 작업자

- 이온주입 공정에서 예방 유지보수(PM)는 갑작스러운 고장을 방지하고 장비의 신뢰성을 극대화하기 위한 정기적이고 체계적인 점검, 청소, 마모된 부품 교체 등의 작업이다. 이온주입 장비에 대한 PM 작업을 수행할 때 작업자는 여러 가지 안전 및 보건 위험에 노출될 수 있다.
 - 엑스레이 이온화 방사선: 이온주입 장비에서는 고전압 전기 시스템 사용으로 엑스레이 이온화 방사선이 발생한다. 엑스레이 모니터링 장치를 사용하는 등 노출을 제한하기 위한 안전 절차가 필요하다.
 - 고전압 노출: 이온주입기는 고전압에서 작동한다. 감전을 방지하기 위해 유지보수 전에 모든 전원을 차단한다.
 - 화학물질 노출: 비소, 포스핀, 삼불화붕소 등 이온주입에 사용되는 특정 도판트는 유해하거나 독성이 있을 수 있다. 유지보수 작업자는 PM 공정 중에 잔류 화학물질이나 가스에 노출될 수 있다. 적절한 환기와 개인보호장비(PPE)를 사용하는 것이 중요하다.
 - 기계 위험: 유지보수 작업에는 종종 중장비나 움직이는 부품과 상호작용하는 작업이 포함된다. 부적절한 취급이나 미끄러짐, 넘어짐으로 인해 부상이 발생할 수 있다. 유지보수 중 반복적인 동작이나 어색한 자세로 인한 인체공학적 위험도 있다.
 - 잔열(Residual Heat): 이온주입 장비는 작동 중에 매우 뜨거워질 수 있다. 유지보수 작업을 시작하기 전에 장비를 충분히 식히지 않으면 잔열로 인해 화상을 입을 수 있다.
 - 밀폐공간: 일부 PM에서는 작업자가 밀폐된 공간에 들어가야 할 수도 있다. 이로 인해 부상 위험이 증가하고 유해 가스 또는 산소 부족에

노출될 가능성이 있다.

- 압력 시스템: 이온주입기에는 가스 실린더나 진공 시스템과 같이 고압을 받는 부품이 포함된 경우가 많다. 이러한 부품은 올바르게 취급하지 않을 경우 폭발 또는 파열의 위험이 있다.
- 이러한 위험을 최소화하기 위해 유지보수 담당자는 잠금/태그아웃 절차, 개인보호장비 사용, 화학물질의 안전한 취급, 비상 대응 절차 등 안전 프로토콜에 대해 적절한 교육을 받는다. 또한 안전 표준을 준수하기 위해 정기적인 건강 및 안전 감사를 실시한다.

(5) 전자 산업 이온 주입 공정 설비 정비 작업 안전보건 가이드 종합

가) 목적

- 반도체 등 전자산업의 이온주입(ion implantation) 공정 설비의 정비 작업에 대한 안전작업절차를 제공하여 작업 중 발생할 수 있는 안전보건 유해·위험 요인 노출로 인한 정비 근로자와 인근 근로자의 부상과 건강 영향을 예방한다.
- 반도체 등 전자산업의 이온주입 공정 설비의 정비 작업을 안전하게 수행함으로써 사고에 따른 회사의 손실을 최소화하고 원활한 생산활동이 이루어지도록 한다.

나) 적용 범위

- 본 가이드는 이온주입 공정의 주요 설비와 부속 설비를 정비할 때 안전보건 유해·위험 요인에 대한 노출을 최소화하여 안전보건 위험을 관리하는 데 적용한다.
- 이온주입 공정별로 발생하는 구체적인 안전보건 위험을 관리하기 위한 가이드는 필요할 경우 따로 개발할 필요가 있다.
- 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 사용된다.

다) 요약

이온주입 공정 설비의 정비 작업은 이 공정에서 사용된 각 종 불순물 화학물질이 포함된 가스상 물질과 입자상 물질, 열, 전기 에너지 등에 노출될 수 있다. 화학물질 누출, 화재, 폭발, 부상 등 잠재적 사고 유해·위험 요인도 있다. 이온주입 공정 설비의 정비 작업을 안전하게 마치려면 다음과 같은 작업절차를 따른다. 본 안전보건가이드를 바탕으로 설비와 정비 작업 특성에 따른 구체적인 조치 사항을 반영하여 사용할 것을 권장한다.

1. 이온주입 공정 설비의 정비 작업 전 안전보건 조치 사항

- 회사의 규정에 따라 정비 작업 허가를 받는다.
- 정비 작업 관련 부서와 협의해서 공정 설비, 화학물질 배관 등을 전기적으로 차단하여 잠그고(lock out)하고 표시(tag out)한 꼬리표를 달아 놓는다
- 작업공간을 주변과 격리하고, 정비 구역을 표시하며, 출입을 제한한다. 위험한 기계나 기구를 사용할 경우 운전자와 신호수를 지정하고 적절한 위치에 배치한다.
- 정비 작업 때 발생할 수 있는 유해·위험 요인을 확인하고 통제할 수 있는 안전보건 조치를 취한다.
- 정비 작업과 비상 상황 때 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 비상 조치 사항을 확인하고 이해한다.
- 정비 작업에 적절한 개인보호장비를 착용한다. 정비작업에서 발생하는 가스상과 입자상물질을 잘 제거할 수 있는 방독 또는 방진마스크 등 호흡보호구를 착용한다. 불순물 이온박스 정비 등 순간 높은 농도의 화학물질이 발생할 가능성이 있는 경우 송기마스크를 착용한다.
- 이온주입 챔버를 충분히 세정하고 퍼지(purge)하여 정온도, 기압, 펌프 작동

상태, 유해가스 농도 등이 정비 가능한 상태가 되었는지 확인을 기다린다.

2. 이온주입 공정 설비의 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 정비작업을 할 때 불순물 가스, 입자 등 노출을 막기 위해 방면용 방독 또는 방진마스크를 써야 한다. 불순물 이온박스 정비 등 순간 높은 농도의 화학물질이 발생할 가능성이 있는 경우 송기마스크를 착용한다.
- 설비, 기계 등에서 먼지를 제거할 때 스크라버(scrubber)로 연결된 이동식 배기 장치를 사용하고, 에어컨 사용은 최소한으로 한다. 에어컨을 사용해야 한다면 배기 장치를 함께 사용해서 공기 중 먼지 분산을 최소한으로 해야 한다.

3. 이온주입 공정 설비의 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

- 이온주입 공정 설비의 정비 작업을 마친 후 보호구를 착용한 채로 정비 공간을 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. 이온 주입 공정 정비 작업 주요 안전보건 점검 리스트

1) 정비 작업 전 안전보건 점검 사항

점검항목	예	아니오	해당없음
------	---	-----	------

점검항목	예	아니오	해당없음
회사 규정에 따라 정비 작업을 위한 안전작업허가서를 받았는가?			
정비 작업 내용을 구체적으로 지시받고, 작업 범위 및 내용을 알고 있는가?			
정비 작업에 필요한 안전한 작업 절차서 등을 검토했는가?			
관계 부서와 공정 운전 중단, 유해·위험 물질 유입 차단과 제거, 전기 차단 등의 안전조치를 취했는가?			
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 했는가?			
이온주입 챔버 안 이온박스, 빔(beam)라인, 엔드스테이션 등이 정비가능 상태인 것을 확인했는가?			
핵심 안전보건 유해·위험 요인을 확인했고 사고 영향 범위를 알고 있는가?((주요 유해·위험인자 위험성 평가 및 관리 실시)			
정비 도구 등을 챙기고 성능을 확인하였는가 ?			
배기 장치, 세척·세안 설비, 보호구 등의 작동 성능을 확인했는가?			
비상사태 발생 시 조치 사항 등 핵심 안전 보건 교육을 받았는가?			
정비작업에 적절한 보안경, 방진마스크, 방독마스크 등 개인보호장비를 착용했는가?			
이온주입 챔버 등 정비 대상 공간을 지속적으로 퍼지해서 열, 유해가스, 먼지 등을 제거했는가?			
크레인, 호이스트, 리프트 등 위험기계기구를 사용한 경우 운전자와 신호수 지정, 작업 구역 통제 등 안전 조치를 취했는가?			

점검항목	예	아니오	해당없음
이온주입 챔버 안과 밖에서 먼지를 제거할 때 스크라버로 연결된 이동식 배기 장치(튜브)를 사용하고, 에어건 사용은 제한하거나 최소한인가.			
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

점검항목	예	아니오	해당없음
보호구를 착용하고 폐기물을 안전하게 수거하고 처리했는가?			
정비 작업 도구, 볼트, 너트 등을 치웠고, 챔버 설비가 적절한 작동 상태에 있는지 확인했는가?			
기밀시험 등을 실시하였는가?			
공정을 재가동하고 공정 테스트를 완료했는가?			
회사가 정한 규정과 양식에 따라 주요 정비 내역을 기록했는가?			
이온주입 공정 설비의 정비 중 추가로 기록해야 할 사항이 있다면 써 주세요.			

6) 전자산업 일반 세정작업

(1) 세정 작업 주요 과정

- 반도체, LCD, OLED 등 전자산업에서 사용되는 금속 및 비금속 부품, 기계, 장비의 세정에는 오염물질을 효과적으로 제거하고 기능을 유지하기 위한 몇 가지 주요 공정이 포함된다. 다음은 일반적으로 사용되는 주요 기술이다. 세정 순서는 세정 대상과 방법 등에 따라 다르다.

가) 세정 전 검사(Pre-Cleaning Inspection)

- 세정 공정을 시작하기 전에 금속 및 비금속 부품, 기계, 장비를 육안으로 검사하여 오염물질의 유형과 정도를 파악한다. 이 검사는 적절한 세정 방법과 세정액을 결정하는 데 도움이 된다.
- 공정별로 사용된 금속 및 비금속 부품, 기계, 장비 등 종류와 이들의 재질에 따라 세정 방법이 다를 수 있다. 세정방법 등은 원청 또는 관련부서와 협의한다.

나) 분해

- 필요한 경우 장비 또는 기계를 개별 구성품으로 분해하여 철저히 세정한다.

다) 건조 세정

- 드라이클리닝 기법을 사용하여 표면의 이물질, 먼지, 입자 등을 제거한다. 이를 위해 바람 불기, 솔질하기, 보푸라기가 없는 천으로 닦기 등의 방법을 사용할 수 있다.

라) 탈지 세정(Degreasing)

- 전자산업 공정에서 사용된 많은 금속 및 비금속 재질 부품, 기계, 장비 등 종류와 재질 작동 중에 그리스, 윤활유 기름류 등이 묻을 수 있다. 이들을 용해하고 제거하기 위해 적절한 유기용제, 산, 알칼리 등 화학물질을

사용하여 탈지 작업을 수행한다. 부품이나 장비의 크기와 특성에 따라 침지 담굼, 분무, 닦기 등의 방법을 사용할 수 있다.

- 유기용제에 의한 탈지 세정으로는 접착제, 수지, 플렉스 잔여물과 같은 다양한 유형의 유기 또는 비수성 오염물질을 제거한다. 세정 대상 오염물질에 따라 적합한 용매 또는 용매 혼합물을 선택한다. 부품이나 장비를 선택한 용매에 담그거나 분사하거나 문질러서 철저히 세정한다.

마) 산 세정

- 황산(H_2SO_4), 염산(HCl), 질산(HNO_3), 인산(H_3PO_4)과 같은 산성 용액을 희석하여 금속 및 비금속 부품에서 잘 지워지지 않는 오염물질이나 산화물 층을 제거할 수 있다. 금속 및 비금속 부품을 산성 용액에 담그거나 산성 용액을 뿌린 다음, 철저히 헹구어 잔여물을 제거한다.

바) 알칼리 세정

- 수산화나트륨($NaOH$), 수산화칼륨(KOH)과 같은 알칼리성 용액은 금속 및 비금속 부품에서 유기 오염물질, 그리스, 오일, 플렉스 잔류물을 제거하는 데 효과적이다. 금속 및 비금속 부품을 알칼리성 용액에 담그거나 알칼리성 용액을 뿌린 다음, 철저히 헹구어 잔여물을 제거한다.

사) 연마 블라스팅(abrasive blasting)

- 작은 연마 입자를 고속으로 뿜어 표면의 오염물질, 스케일, 코팅을 제거하는 방식이다. 금속 및 비금속의 종류, 제거할 오염물질의 유형, 원하는 표면 마감에 따라 적절한 연마재 매체를 선택한다. 구형(bead), 비구형 등 다양한 연마재가 있고 연마재 특성에 따라 연마와 비드 블라스팅(bead blasting)이 있다.

아) 초음파 세정(Ultrasonic Cleaning)

- 금속 및 비금속 부품에서 잘 지워지지 않는 오염물질을 제거하는 데 매우 효과적인 방법이다. 부품을 세정 용액에 담그고 고주파 초음파를 가

한다. 초음파 에너지가 표면 근처에서 파열되는 미세한 거품을 만들어 오염물질을 들어 올려 제거한다.

자) 행굼(Rinsing)

- 1차 세정 단계가 끝나면 철저하게 행구어 남아 있는 세정제나 오염물질을 제거한다. 탈이온수 등의 적절한 행굼 용액을 사용하여 부품이나 장비를 행군다. 세정제를 완전히 제거하려면 여러 번 행굼야 할 수도 있다.

차) 건조

- 물 얼룩이나 부식을 방지하려면 세정을 거친 금속 및 비금속 부품이나 장비를 완전히 말려야 한다. 공기 건조, 건조 오븐, 건조제 건조 등이 있다. 중요한 부위에서 습기가 완전히 없어졌는지 확인하는 것이 중요하다.

카) 검사 및 재조립

- 금속 및 비금속 부품이나 장비가 건조되면 최종 검사를 통해 깨끗하고 오염물질이 없는지 확인한다. 추가 세정 작업이 필요하지 않은 경우, 부품이 올바르게 정렬되고 연결되었는지 확인하면서 재조립한다. 전자산업용 부품 등은 세정 후 검사 작업은 크린 룸에서 수행하는 경우가 일반적이다.

(2) 세정 공정의 분류

- 전자산업에서 사용되는 금속 및 비금속 부품, 기계, 장비를 세정하는 방법은 특정 세정 요건, 금속 및 비금속 유형, 오염물질의 특성과 적용 가능한 안전 고려 사항에 따라 달라진다. 가장 적합한 세정 방법을 선택하려면 효과, 효율성, 환경에 미치는 영향, 세정할 재료와의 호환성 등의 요소를 고려해야 한다.

가) 기계적 세정 방법(Mechanical Cleaning Methods)

(가) 스크리빙(Scrubbing)

- 브러시, 스크럽 패드, 연마재 등을 사용하여 금속 및 비금속 부품이나 장비 표면에서 오염물질을 물리적으로 제거한다. 수작업으로 세세한 표면 처리하는 작업도 있다.

(나) 초음파 세정

- 액체 세정 용액에 고주파 초음파로 미세한 거품을 만들어 파열시켜 표면에서 오염물질을 제거한다.

(다) 고압 물 분사

- 물을 고압으로 뿜어 물줄기의 힘을 통해 금속 및 비금속 부품의 먼지, 잔여물, 코팅을 제거한다.

나) 화학적 세정 방법

(가) 유기용제 세정

- 용제 또는 유기 화합물을 사용하여 금속 및 비금속 표면의 오염물질, 오일, 그리스, 잔여물을 용해하고 제거한다. 세정할 장비, 기계의 표면에 용제를 담그거나 특수 장비를 사용하여 용제를 골고루 뿌린다.

(나) 산 세정

- 희석된 산성 용액으로 금속 및 비금속 부품이나 장비에서 스케일, 산화물 또는 잘 지워지지 않는 오염물질을 제거한다.

(다) 알칼리 세정

- 알칼리성 용액 또는 세제를 사용하여 금속 및 비금속 표면에서 유기 오염물질, 오일, 그리스, 잔여물을 제거한다.

(라) 계면활성제 세정(Surfactant Cleaning)

- 계면활성제나 세제를 사용하여 표면장력을 낮추고 금속 및 비금속 표면에서 오염물질을 쉽게 제거한다.

다) 증기 세정 방법

(가) 증기 탈지 세정

- 통제된 환경에서 기화된 용제를 사용하여 금속 및 비금속 부품이나 장비에서 오일, 그리스, 오염물질을 녹여 없앤다. 일반적으로 탄화수소 기반 용제 또는 실리콘 기반 용제와 같은 비수용성 용제를 사용한다.
- 유기용제 증기는 먼지, 기름, 얼룩과 상호작용하여 이들의 결합을 느슨하게 하고 녹인다. 유기용제(용매)를 추출하여 오염물질을 함께 제거하면 물품은 건조하거나 거의 건조된 상태로 남는다. 기름의 성질을 가진 얼룩을 제거하고 민감한 소재의 품질과 외관을 유지하는 데 적합하다고 알려져 있다.

(나) 스팀 세정

- 고압 스팀을 사용하여 금속 및 비금속 표면의 먼지, 잔여물, 오염물질을 털어내고 제거한다. 일반적으로 물을 끓는점 이상으로 가열하여 가압 증기를 만든 후, 노즐이나 애플리케이터를 통해 금속 및 비금속금 표면으로 분사한다.

라) 블라스팅(Blasting) 세정 방법

- 연마 블라스팅과 비드 블라스팅은 모두 표면 준비와 세정에 사용되는 에어 블라스팅이지만, 사용하는 연마재와 처리되는 표면에 미치는 영향 등이 다르다. 연마재, 세정 대상 물질의 표면 충격 정도, 표면 마감 거칠기, 블라스팅 후 먼지나 파편 제거(containment) 정도 등에서 차이가 있다.

(가) 연마 블라스팅(Brasive Blasting)

- 연마재를 고속으로 세정 대상 표면에 쏘아 오염물질, 코팅, 녹 등의 오염물질을 제거하는 방법이다. 대표적인 연마재로는 산화알루미늄(Aluminum Oxide), 탄화규소(Silicon Carbide), 규산염광물(Garnet), 스틸 그릿(Steel Grit, 합금 주강), 스틸샷(Steel Shot) 등이 있다. 연마재 선택은 용도와 원하는 세정 또는 표면 준비 결과에 따라 달라진다.
- 연마재마다 경도, 크기, 모양 특성이 달라 효과와 결과물인 표면 질감에 영향을 미친다. 블라스팅 장비로 블라스팅 캐비닛 또는 부스, 공기압축기, 블라스팅 건 또는 노즐, 집진 시스템 등 특수 장비가 필요하다. 노즐을 통해 압축공기와 함께 연마재를 내뿜는다. 연마재와 파편이 주변 공간으로 흩어지는 것을 막기 위해 블라스팅 공정은 일반적으로 밀폐된 캐비닛이나 부스 등에서 진행된다.

(나) 비드 블라스팅(Bead Blasting)

- 작은 구형 비드(구슬)를 고속으로 뿜어 표면의 오염물질, 스케일, 코팅을 제거하는 방법이다. 매끄럽고 균일한 질감을 만들거나 원하는 미적 외관을 구현하는 등 표면 마감 목적으로 자주 사용된다. 대표적인 비드로는 유리 비드, 세라믹 비드, 알루미늄 비드, 스테인리스강 비드, 지르코늄(Zirconium) 비드 등이 있다.
- 크기, 모양, 경도에 따라 비드를 선택하여 원하는 표면 효과를 얻는다. 블라스팅의 강도는 공기 압력, 표면으로부터 노즐까지의 거리, 사용되는 비드의 크기와 유형과 같은 다양한 요인에 따라 조정할 수 있다. 이를 통해 표면 처리를 더욱 세밀하게 제어할 수 있으며, 과도한 표면 처리를 방지할 수 있다.

(다) 이산화탄소(CO₂) 블라스팅(드라이아이스 블라스팅)

- 위에서 설명한 블라스팅 방법만큼 일반적으로 사용되지는 않는다. 드라이아이스(고체 이산화탄소)를 연마재로 사용한다. 드라이아이스를 압축공기와 함께 빠른 속도로 청소 또는 준비 중인 표면에 쏘는 방법이다.

드라이아이스가 고체에서 기체로 승화하면서 오염물질이나 코팅을 제거한다.

마) 특수 세정 방법

(가) 플라즈마 세정

- 금속 및 비금속 부품이나 장비에 저압 플라즈마를 방전하여 만들어진 반응성 가스로 유기 또는 무기 오염물질을 제거하는 방법이다. 플라즈마에 의해 만들어진 반응성 가스는 기체 표면의 잔류물과 화학적으로 반응하여 분자 수준으로 분해한다. 이 과정은 화학적 식각이다.
- 화학반응 외에도 물리적 스퍼터링이 발생할 수 있다. 고에너지 이온이 표면에 부딪혀 운동량이 전달됨으로써 잔여물을 물리적으로 제거한다. 기계, 장비 등에 남아 있는 물질이 화학적으로 에칭되고 물리적으로 스퍼터링되면 휘발성 부산물로 변하고, 저압 환경으로 인해 챔버에서 쉽게 배출되는 가스나 작은 입자가 된다.

(나) 오존 세정

- 오존 가스를 사용하여 금속 및 비금속 표면의 유기물질이나 오염물질을 분해하고 없애는 방법이다. 오존의 산화 특성과 유기, 무기물질을 분해하고 산화시켜 없애는 특성을 이용하는 것이다. 잘 지워지지 않는 유기 잔여물 제거, 악취 제거, 민감한 장비 소독 등 기존의 세정 방법이 효과적이지 않거나 바람직하지 않을 수 있을 때 자주 사용된다.
- 세정 시 잔여물이 남지 않고, 다양한 재료와 호환되며, 화학 용제에 대한 의존도를 낮출 수 있다. 그러나 오존 농도를 제어하여 근로자의 안전을 보장하고, 환경에 미치는 악영향을 방지하고, 화재폭발을 예방하는 것이 중요하다.

(3) 세정 작업과 관련된 주요 안전보건 위험

- 전자산업에서 사용되는 금속 및 비금속 부품, 기계, 장비를 세정할 때

고려해야 할 몇 가지 주요 안전보건 위험이 있다. 이는 다음과 같다.

가) 안전사고 위험

(가) 발화 또는 폭발

- 금속 및 비금속 부품, 기계, 장비는 오일, 그리스, 용제, 잔류물과 같은 인화성이나 가연성 물질은 열, 스파크, 화염 등에 노출되면 발화하거나 폭발할 수 있다.
- 세정 과정 자체에서 부적절하게 접지된 장비, 세정 중 발생하는 스파크 등으로 인해 화재나 폭발이 일어날 수 있다. 오존과 같은 산화제는 오일, 그리스, 용제, 잔류물, 일반적인 고무 가스켓 및 작업자의 작업복 등을 연소시킬 수 있어 주의하여야 한다.

(나) 미끄러짐 또는 추락 위험

- 금속 및 비금속 부품, 기계, 장비를 세정할 때 사용하는 물, 세정액 등의 액체로 인해 작업장, 기계 등의 표면이 미끄러워질 수 있다. 이로 인해 미끄러짐, 넘어짐, 낙상 위험이 생길 수 있다.

(다) 전기적 위험

- 전기 장비나 기계를 이용해서 세정할 때 예방 조치를 취하지 않으면 감전의 위험이 있다. 전원을 올바르게 분리하고, 잠금/태그아웃 절차를 따르고, 전류가 흐르는 전기 부품에 접촉하지 않도록 하는 것이 중요하다.

(라) 세정기계 등 적재(loading)와 하적(unloading)

- 세정 대상 부품, 기계, 장비 등을 싣거나 내릴 때 크레인과 같은 위험한 기계를 이용하거나 수동으로 작업하게 되는데, 이때 깔림 등의 중량물 취급에 따른 안전사고 위험이 있다.

나) 질병 위험

(가) 화학물질 노출

- 세정에 사용하는 세정제, 솔벤트, 탈지제, 세제를 사용하면 화학적 안전

보건 위험이 발생한다. 일부 세정제에는 피부 자극, 호흡기 문제, 알레르기 반응을 일으킬 수 있는 독성물질이나 유해 물질이 포함되어 있다. 또한 흡입 시 유해할 수 있는 증기나 연기가 나올 수 있다. 환기가 잘 되지 않거나 밀폐된 공간에서 작업하면 노출 위험이 높아질 수 있다.

(나) 피부 접촉 및 흡수

- 세정제, 용제, 연마제 등 세정 재료는 물론 세정 과정에서 오염된 표면이 피부에 직접 닿으면 피부 자극, 피부염, 화학 화상 등을 입을 수 있다. 일부 세정제는 피부를 통해 흡수되어 전신 건강에 영향을 미칠 수 있다.

(다) 눈 손상

- 물보라, 스프레이, 에어로졸화된 세정제나 연마제는 눈에 위험할 수 있다. 눈이 화학물질에 노출되면 눈 자극, 화학적 화상, 시력 손상을 일으킬 수 있다.

(라) 인체공학적 위험

- 반복적인 동작을 하고 무거운 물건을 들거나 불편한 자세로 작업하면 근골격계질환이나 부상이 생길 수 있다.

(마) 유해 폐기물 관리

- 안전보건 사고와 환경오염을 방지하고 규정을 준수하려면 세정제, 용제, 오염물질을 적절히 취급, 보관, 폐기하는 것이 중요하다. 관련 규정이나 법규에 따라 원료 회수를 위해 유해 폐기물을 반납할 수도 있고, 자체 또는 위탁 처리할 수도 있다.

다) 주요 세정 방법별 안전보건 위험 구분

- 세정 방법에 따라 사용되는 세정 제품, 화학물질, 장비, 공정이 달라질 수 있고, 이에 따라 특정한 안전보건 위험이 생길 수 있다. 세정 방법에 따라 철저한 위험평가를 수행하고 적절한 관리 방안을 마련한다.

(가) 화학적 세정

- 세정제로 사용하는 화학물질에는 부식성 산, 강알칼리, 유기용제 등 유해 물질이 포함되어 있다. 이러한 화학물질은 올바르게 취급하지 않으면 피부, 호흡기질환, 화학적 화상 등 급성, 만성 질병 위험을 초래할 수 있다. 세정용 화학물질, 특히 염소계 표백제와 암모니아가 포함된 화학물질을 부적절하게 혼합하면 건강에 해로운 유독가스가 발생하고 호흡기 질환이나 눈 자극이 일어날 수 있다.
- 세정제, 용제 또는 잔류물과 같은 인화성이나 가연성 물질은 열, 스파크, 화염에 노출될 경우 발화하거나 폭발할 수 있다.

(나) 증기 세정

- 탄화수소 기반 용제와 같은 용매를 사용하여 세정할 때 급성과 만성 건강위험이 있다. 적절한 환기나 개인보호장비(PPE) 없이 이러한 용매에 장시간 노출되면 피부 자극, 호흡기 문제 등 급성, 만성 건강 영향을 입을 수 있다.
- 많은 증기 세정용 유기용제는 인화성 또는 가연성을 갖고 있다. 부적절한 보관, 취급 또는 점화원 근처에서의 사용은 화재 또는 폭발로 이어질 수 있으며, 이는 심각한 안전 위험을 초래할 수 있다.

(다) 블라스팅 세정

- 블라스팅에서는 실리카, 중금속과 같은 유해 물질이 포함될 수 있는 먼지와 입자가 공기 중에 퍼진다. 이러한 먼지와 입자를 흡입하면 호흡기 문제, 폐 손상 등의 급성, 만성 건강 영향을 입을 수 있다.
- 블라스팅은 고압을 사용하기 때문에 높은 수준의 소음을 일으켜 청력이 손상될 위험이 크다.
- 블라스팅 동안 날아다니는 파편과 연마 입자로 인해 눈에 부상을 입을 수 있다. 고글 등 눈 보호구를 착용하지 않으면 눈 자극, 각막 찰과상, 더 심각한 눈 손상의 위험에 처할 수 있다.
- 연마재, 고압의 물줄기, 날카로운 모서리에 닿으면 피부와 연조직에 찰과상, 베임, 타박상 등의 부상을 입을 수 있다. 부적절한 개인보호장

비를 착용하거나 블라스팅 장비를 부적절하게 취급하면 이러한 부상의 위험이 크다.

- 블라스팅은 미끄러운 표면에서 작업하는 경우가 많기 때문에 추락하거나 미끄러질 위험이 크다.
- 블라스팅 장비 오작동 또는 사고의 위험이 있다. 압력 용기, 압축기, 발파 노즐을 포함한 발파 장비가 오작동하거나 근로자가 안전조치를 따르지 않을 경우 위험에 노출될 수 있다. 장비 고장, 폭발 또는 기타 사고로 인해 심각한 부상이나 재산상의 손해가 발생할 수 있다.
- 일부 블라스팅 재료나 공정에는 인화성 물질이 포함될 수 있으며, 적절한 예방조치를 취하지 않을 경우, 화재 또는 폭발 위험이 있다.

(라) 증기 세정

- 고온 증기를 주의해서 취급하지 않으면 화상의 위험이 있다.
- 뜨거운 증기를 직접 흡입하면 질식, 호흡기 불편감이나 화상을 입을 수 있다.
- 고압 증기나 물을 이용하여 미끄러운 표면에서 작업하는 경우가 많기 때문에 추락하거나 미끄러질 위험이 크다.

(5) 전자 산업 기계, 장비, 부품 등 세정 작업 안전보건 가이드 종합

가) 목적

- 반도체, LCD, OLED 등 전자산업의 공정에서 사용된 금속 및 비금속 부품, 기계, 장비의 오염물질을 제거해서 이들의 본래 공정 기능을 유지하는 세정 작업에 대한 일반적인 안전작업절차를 제공하여 유해·위험요인에 의한 부상 또는 질병, 환경, 재산상 손실을 예방한다.

나) 적용 범위

- 본 가이드는 반도체, LCD, OLED 등 전자산업 공정에서 사용된 금속 및 비금속 부품, 기계, 장비를 세정할 때 일반적인 유해·위험 요인 때문에 일어날 수 있는 위험을 관리하는 데 적용한다.

- 반도체, LCD, OLED 등 전자산업 공정 설비를 정비하는 작업에서 세정하는 데는 직접적으로 적용하지 않는다.
- 다른 산업의 공정에서 사용된 금속 및 비금속 부품, 기계, 장비를 세정할 때 일어날 수 있는 일반적인 유해·위험 요인으로 인한 위험을 관리하는 데 활용될 수 있다.

다) 요약

전자산업 공정에서 사용한 장비, 기계 부품 등을 세정하는 작업은 화학물질 누출, 폭발, 질식, 각종 안전사고 및 질병 위험 등 잠재적 위험이 있다. 세정 작업을 안전하게 마치기 위해서는 아래와 같은 작업절차를 따라야 한다.

1. 세정 작업 전 안전 보건 조치 사항

- 회사의 규정에 따라 세정 작업 허가를 받는다.
- 세정 작업 때 발생할 수 있는 위험인자를 확인하고 관리할 수 있는 안전보건 조치를 취한다.
- 세정 작업 때 사용하는 안전보건시설(세척·세안 설비, 배기 장치 등)과 개인 보호 장비 성능을 점검한다.
- 세정 작업에서 사용하는 기계, 도구 등의 성능이 최적인지 확인한다.
- 세정 작업을 안전하게 수행하기 위한 내용을 훈련받고 사고 발생 시 취해야 할 조치를 확인한다.
- 세정 작업에 필요한 개인보호장비를 착용한다. 연마 블라스팅 작업에서 사용하는 송기 마스크에는 공기 질(quality)이 “D”(대기 산소와 같은 수준)를 유지해야 한다.

2. 세정 작업 중 안전 보건 조치 사항

- 세정 작업을 모니터링하고 비상상황 시 조치를 취할 수 있도록 세정작업 공

간에 근처에 근로자 또는 감독자를 배치한다.

- 세정 작업자는 세정 작업 중 안전 사고 위험, 인체 이상 증상, 장비 성능 등 비상 상황이 발생 또는 발견되는 경우 세정 작업을 감독하는 근로자와 연락해서 신속하게 조치를 취할 수 있도록 한다.

3. 세정 작업 후 안전 보건 조치 사항

- 보호구를 착용한 채로 세정 작업 공간을 깨끗하게 청소한다. 세정 작업 후 생긴 폐기물은 특성에 따라 적절히 분류해서 보관하고 신속히 처리한다.
- 세정 작업을 마치고 안전 점검을 마친다. 세정 작업 이력 카드에 수행한 작업 종류, 작업 날짜, 작업 근로자, 발생한 문제 등의 주요 세정 작업 내역을 기록하고 보존한다.

4. 세정 작업 주요 안전보건 점검 체크 리스트

1) 세정 작업 전 안전보건 점검 사항

점검항목	예	아니오	해당없음
세정 작업내용을 구체적으로 지시받고, 그 내용을 알고 있는가?			
세정 작업에 필요한 안전한 작업 절차서 등을 검토하였는가?			
관계 부서와 안전한 세정 작업에 필요한 조치했는가?			
세정 작업 구역을 설정하고 접근 제한 조치를 하였는가?			
세정 작업에서 발생하는 핵심 안전보건 유해위험요인을 확인했고 사고 영향 범위를 알고 있는가?			
배기 장치, 세척·세안 설비, 보호구 등 작동 성능을 확인했는가?			
핵심 안전보건 교육을 받았는가?			

점검항목	예	아니오	해당없음
비상사태 발생 시 조치사항을 알고 있는가?			
연락방법 및 전화번호를 알고 있는가?			
세정 작업에 적절한 개인보호구를 착용하였는가?			
연마 블라스팅에서 사용하는 송기 마스크는 “D”공기가 공급되는지 확인하였는가			

추가적인 유해위험요인이 있다면 여기에 기록해 주세요.

추가적인 유해위험요인은 제거되었는가?			
----------------------	--	--	--

2) 세정 작업 후 안전보건 조치 사항 점검

점검항목	예	아니오	해당없음
보호구를 착용하고 세정작업 공간을 청소하였는가 ?			
세정 작업 후 발생한 폐기물을 폐기물 특성과 성질에 따라 적절하게 분리, 수거, 보관하였는가 ?			
폐기물을 보관하는 장소는 적절한 환기 등 안전한 보관기준을 유지하고 있는가 ?			
회사가 정한 규정과 양식에 따라 주요 세정 작업 내역을 기록, 입력 등을 했는가?			

안전한 세정 작업을 위해서 추가로 기록해야 할 사항이 있다면 써 주세요

라) 안전보건가이드 전문(별책)

(6) 전자산업 연마 블라스팅 세정 작업 안전보건 가이드

가) 목적

- 반도체, LCD, OLED 등 전자산업의 공정 설비에서 사용된 금속 및 비금속 부품, 기계, 장비에 묻은 먼지 등 오염 물질을 제거하기 위한 연마 블라스팅 세정 작업에 대한 일반적인 안전작업절차를 제공하여 유해·위험 요인에 의한 부상 또는 질병, 환경, 재산상 손실을 예방한다.

나) 적용범위

- 본 가이드는 반도체, LCD, OLED 등 전자산업 공정 설비에서 사용된 금속 및 비금속 부품, 기계, 장비에 묻어 있는 먼지 등을 제거하는 연마 블라스팅 세정 작업을 할 때 일반적인 유해·위험 요인 때문에 일어날 수 있는 위험을 관리하는 데 적용한다.
- 반도체, LCD, OLED 등 전자산업 공정 설비를 정비할 때 수행하는 정비와 세정 작업에는 직접적으로 적용하지 않는다.
- 다른 산업의 공정에서 사용된 금속 및 비금속 부품, 기계, 장비를 연마 블라스팅으로 세정 작업을 할 때 일어날 수 있는 유해·위험 요인으로 인한 위험을 관리하는 데 활용될 수 있다.

다) 요약

전자산업 공정에서 사용한 장비, 기계 부품 등을 세정(cleaning) 하는 연마 블라스팅(abrasive blasting) 작업은 연마재, 소음, 진동 노출로 인한 질병 위험과 안전사고 등 잠재적 위험이 있다. 따라서, 본 안전보건가이드를 바탕으로 블라스팅 연마재, 블라스팅 방법 등에 따른 구체적인 조치 사항을 반영하여 사용할 것을 권장한다.

1. 연마 블라스팅 작업 전 안전 보건 조치 사항

- 회사의 규정에 따라 연마 블라스팅 작업 허가를 받는다.

- 연마 블라스팅 작업 공간을 주변 다른 공정이나 작업과 격리하고, 작업 구역을 표시한다. 필요한 경우 출입을 제한한다.
- 연마 블라스팅 작업 때 발생할 수 있는 유해·위험인자를 확인하고 관리할 수 있는 안전보건 조치를 취한다.
- 연마 블라스팅 작업 때 사용하는 안전보건시설(세척·세안 설비, 배기 장치 등)과 개인 보호 장비 성능을 점검한다. 송기 마스크에는 공기 질(quality)이 “D”(대기 산소와 같은 수준)를 유지해야 한다.
- 연마 블라스팅 작업에서 사용하는 장비, 도구 등의 성능이 최적인지 확인한다.
- 연마 블라스팅 작업을 안전하게 수행하기 위한 내용을 훈련받고 사고 발생 시 취해야 할 비상 조치 사항을 확인하고 이해한다.
- 연마 블라스팅 작업에 필요한 개인보호장비를 착용한다. 안면 보호 헬멧, 송기마스크, 귀마개, 보호복, 가죽 장갑 및 신발 등을 착용하고 날아오는 연마재 등 파편과 압력으로부터 몸 전체를 보호할 수 있도록 보호구들을 견고하게 밀착하도록 한다.
- 송기 마스크에는 공기 질(quality)이 “D”(대기 산소와 같은 수준)를 유지해야 한다.

2. 연마 블라스팅 작업 중 안전 보건 조치 사항

- 연마 블라스팅 작업을 모니터링하고 비상상황 시 조치를 취할 수 있도록 블라스팅 챔버 근처에 동료 근로자 또는 감독자를 배치한다.
- 연마 블라스팅 작업자는 세정 작업 중 안전 사고 위험, 인체 이상 증상, 장비 성능 등 비상 상황이 발생한 작업을 근처 근로자와 연락해서 신속하게 조치를 취할 수 있도록 한다.

3. 연마 블라스팅 작업 후 안전 보건 조치 사항

- 보호구를 착용한 채로 연마 블라스팅 작업 공간을 깨끗하게 청소한다. 연마 블

라스팅 작업 후 생긴 연마재 등 폐기물은 특성에 따라 적절히 분류해서 회수하거나 보관하고 신속히 처리한다.

- 연마 블라스팅 작업을 마치고 안전 점검을 마친다. 연마 블라스팅 작업 이력 카드에 수행한 작업 종류, 작업 날짜, 작업 근로자, 발생한 문제 등의 주요 연마 블라스팅 작업 내역을 기록하고 보존한다.

4. 연마 블라스팅 작업 주요 안전보건 점검 체크 리스트

1) 연마 블라스팅 작업 전 안전보건 점검 사항

점검항목	예	아니오	해당없음
회사 규정에 따라 블라스팅 작업을 위한 안전작업허가서를 받았는가?			
연마 블라스팅 작업내용을 구체적으로 지시받고, 그 내용을 알고 있는가?			
연마 블라스팅 작업에 필요한 안전한 작업 절차서 등을 검토하였는가?			
관계 부서와 안전한 연마 블라스팅 작업에 필요한 사항을 조치했는가?			
연마 블라스팅 작업 구역이 다른 작업공간과 격리되었고 접근 제한 조치를 하였는가?			
연마 블라스팅 작업에서 발생하는 핵심 안전보건 유해 위험요인을 확인했고 사고 영향 범위를 알고 있는가(주요 유해·유해·위험인자 위험성 평가 실시)?			
연마 블라스팅에 필요한 장비와 도구 등을 챙기고 성능을 확인하였는가 ?			
배기 장치, 세척·세안 설비, 보호구 등의 작동 성능을 확인했는가?			
공기 압축기는 오일을 사용하지 않은 유형인지 확인하였는가 ?			

점검항목	예	아니오	해당없음
안면 보호 헬멧, 송기 마스크, 보호복, 가죽 장갑 및 신발 등을 착용하였는가 ?			
연마 블라스팅에서 사용하는 송기 마스크는 “D”공기(대기 산소와 같은 수준)가 공급되는지 확인하였는가			
공기 압축기와 공기 공급 호스가 잘 연결되고 견고한지 확인하였는가 ?			
안면 보호 헬멧, 보호복, 장갑, 신발, 송기마스크 등 개인보호구들이 서로 잘 밀착되었는가			
연마 블라스팅 작업 동안 비상사태 발생 시 조치사항 등 핵심 안전 보건 교육을 받았는가?			
작업 중 비상 상황이 발생했을 때 외부 감독자와 신호 또는 연락할 방법이 있는가?			
추가적인 유해 위험요인이 있다면 여기에 기록해 주세요.			
추가적인 유해 위험요인은 제거되었는가?			

2) 정비 작업 후 안전보건 조치 사항 점검

점검항목	예	아니오	해당없음
연마 블라스팅 작업 후 보호구를 착용하고 연마재 등 폐기물을 폐기물 특성과 성질에 따라 적절하게 분리, 수거, 보관하였는가?			
연마재 등 폐기물을 보관하는 장소는 적절한 환기 등 안전한 보관기준을 유지하고 있는가 ?			
회사가 정한 규정과 양식에 따라 주요 연마 블라스팅 작업 내역을 기록하였는가 ?			
안전한 연마 블라스팅 작업을 위해서 추가로 기록해야 할 사항이 있다면 써 주세요			

7. 안전보건 영상 가이드 개발:전자산업 공정 사용 부품 등 연마 블라스팅

〈영상 촬영 원고임. 영상은 별도 제출함〉

〈오프닝〉

MC 반도체, LCD, OLED 등 전자산업은
 우리나라가 세계 1위!
 그럼, 전자산업 공정에서 사용된
 부품, 기계, 장비 등을 세정하기 위한
 연마 블라스팅 작업에서의
 안전은 어떨까요?

 근로자의 생명·안전권은
 지켜져야 할 최고의 가치!

 지금부터 연마 블라스팅 작업에서의
 사고와 건강위험을 막을 수 있는
 안전 가이드를 알려드립니다.

〈사건 사례〉

- 연마 블라스팅 작업방에서의 질병 위험 사고 사례

 약 14년 동안 연마 블라스팅 작업을 했던 근로자 A씨
 5년간은 호흡보호구를 착용하고
 금속 연마재를 사용해
 챔버 안에서 블라스팅 작업을 했습니다

하지만 작업 후 챔버 안에서 연마재를 회수하고 청소할 때는
호흡보호구를 착용하지 않았죠.

2002년 폐암에 걸려 사망!
챔버 안 연마재 노출이 원인으로 판정되어 산업재해 보상 받
았습니다

MC 연마 블라스팅은 금속 등 다양한 연마재를
기계나 부품 표면에 고압으로 뿜어내
부품에 붙은 먼지, 녹, 스케일 등을
제거하는 공정인데요,

안전한 작업절차에 따라 수행하지 않으면
매우 위험할 수 있습니다.

그럼, 어떻게 안전사고와 건강위험을 피할 수 있을까요?

안전사고와 건강위험을 관리하는 첫걸음은
연마 블라스팅 작업에서 발생하는
위험 요인을 잘 알고
이를 통제하는 공학적 조치와 작업 절차를 따르는 것입니다.

우선, 연마 블라스팅 작업 과정에서
어떤 위험요인이 발생할 수 있는지 알아봅니다.

MC

소음성 난청

연마 블라스팅 작업은 연마 입자를 고속으로 세정 대상 기계 부품 표면에 분사하기 때문에 매우 높은 소음이 발생합니다. 이 소음에 일정 기간 노출되면 영구적으로 청력이 손상됩니다.

호흡기 및 폐질환

알루미늄, 철 등 다양한 연마재가 미세한 입자 형태로 연마 블라스팅 작업에 사용되므로, 호흡기가 장시간 노출되면 심각한 호흡기질환과 폐 손상을 일으킬 수 있습니다.

눈 손상

연마 블라스팅 작업 시 날아다니는 미세한 연마 입자, 파편 등이 눈을 세게 때려 점막, 각막 등이 긁혀 상처를 입을 수도 있고 심하면 시력을 잃을 수 있습니다.

피부 자극 및 상해

매우 높은 압력과 속도로 분출하는 연마재 그리고 기계나 설비의 날카로운 모서리 등에 피부가 닿으면 찰과상, 타박상 등 각종 상해를 입을 수 있습니다.

미끄럼 사고

작업 후 바닥에 떨어진 연마재, 부품 파편 등을 밟아 미끄러져 넘어지는 사고가 발생할 수 있습니다.

진동 및 근골격계질환 발생

고압 연마 분사기를 장기간 사용하면 인체 전신 진동은 물론 목, 허리, 어깨 등에 손상을 입어 각종 근골격계질환이 발생할 수 있습니다.

MC

하지만 이제 걱정하지 마세요.

자막

SAFE GUIDE
LIFE GUIDE!

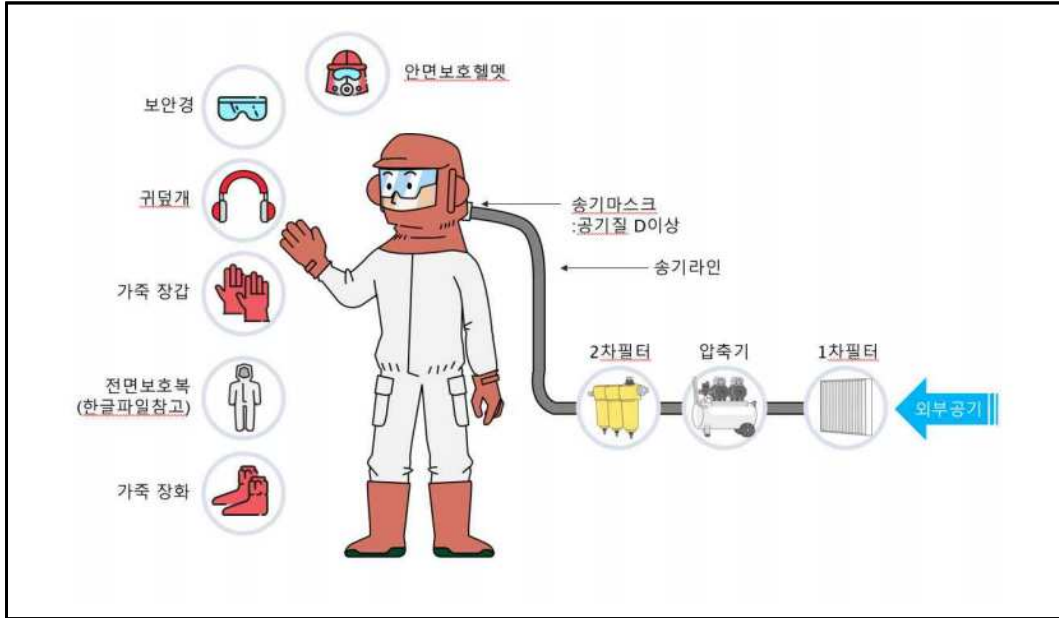
MC **적절한 개인보호장비 착용은**
바로, 생명줄!
 사업주는 연마 블라스팅에 맞는 적절한 공학적인 조치를 취하
 고 근로자는 개인 보호구를 잘 착용하고
 안전작업절차를 따르면
 사고와 질병은 일어나지 않습니다.

MC **지금부터 연마 블라스팅을 할 때**
근로자가 따라야 할 주요 안전작업절차를 알려 드립니다.

MC **첫째, 적절한 개인보호장비 착용**

연마 블라스팅 작업에서 위험을 피하는 가장 중요한 방법은 보호구 착용입니다. 보호구는 연마재에 견딜 정도로 튼튼해야 하며, 보호구 간의 밀착이 잘 되어야 합니다. 순서대로 개인보호장비를 착용해 보겠습니다.

- 보호복: 옷 전체가 한 벌로 된 보호복을 착용합니다.
- 귀마개 또는 귀덮개: 연마 블라스팅 시 발생하는 강한 소음을 차단하기 위해 귀마개나 귀덮개를 착용합니다.
- 방진마스크: 연마 블라스팅 시 발생하는 분진 등 유해물질로부터 호흡기를 보호하기 위해 산업용 방진마스크를 착용합니다.
- 장갑과 장화: 강한 연마재 파편에도 견딜 수 있는 재질의 장갑과 장화를 착용합니다
- 안면 보호 헬멧: 뿜어내는 연마재 파편으로부터 머리를 보호하고 시야를 확보합니다.
- 송기 마스크: 밀폐된 공간에서 연마 블라스팅 작업을 할 때 매우 높은 농도의 먼지가 발생하기 때문에, 송기 마스크를 써야합니다. 송기 마스크로 공급되는 공기가 D 등급 수준의 깨끗한 공기가 되도록 공기 압축기는 오일을 사용하지 않은 종류여야 하고 필터로 먼지를 제거해야 합니다. 즉, 공기압축기로 들어오는 오염된 외부공기를 1차로 여과하고 압축한 후, 블라스팅 챔버로 들어가기 전 추가로 여과해서 근로자가 착용하고 있는 송기 마스크로 신선한 공기를 보내는 구조를 갖춰야 합니다.
- 보호구가 서로 잘 밀착되고 떨어지지 않도록 착용하며, 보호구 간 틈이 생기지 않도록 잘 밀봉합니다.



MC 둘째, 위험성 평가 등 안전보건교육 실시

-안전보건교육 실시하는 모습

[안전보건 관리자 + 작업자]

MC 연마 블라스팅 작업에 참여하는 근로자에게 사전에 안전보건교육을 실시해 위험을 정확히 인식하고 안전하게 작업하도록 합니다. 교육 내용에는 필요한 기계 사용법, 안전한 개인보호장비 착용, 비상사태 발생 시 행동 요령 등 각종 안전보건 조치를 포함해야 합니다.

MC 셋째, 연마 블라스팅 작업공간 분리

- 연마 블라스팅 작업장 모습

MC 연마 블라스팅 작업에서 발생하는 각종 연마재와 오염물질이 주변으로 확산하지 않도록 챔버, 부스 등으로 작업공간을 격리합니다.

MC 넷째, 연마 블라스팅 장비와 환기장치 성능 점검

- 연마 블라스팅 장비 및 환기장치 점검하는 모습

MC 작업을 시작하기 전에 먼저 연마 블라스팅 장비, 부품, 호스 등이 튼튼하고 적절한 작동 상태에 있는지 점검합니다. 또한 연마 블라스팅 작업 중에 생기는 각종 연마 먼지 등을 환기장치가 잘 작동하고 있는지 점검해야 합니다.

MC 다섯째, 연마 블라스팅 작업 중 사고 위험 비상 조치 ☑

- 연마 블라스팅 작업장의 근로자와 외부의 감독자가 커뮤니케이션하는 모습

MC 연마 블라스팅 작업에서는 반드시 챔버 밖에 감독자나 근로자를 배치하여 작업을 모니터링하고, 만약 위험 상황이 발생하면 신속하게 조치하도록 해야 합니다. 근로자는 연마 블라스팅 작업 중에 몸이 불편하거나 장비 고장, 환기장치 이상, 사고 위험을 느낄 때는 챔버 밖 근로자에게 바로 신호할 수 있도록 비상 조치를 마련해야 합니다.

MC 여섯째, 연마 블라스팅 작업 후 안전보건 조치 ☑

- 작업장 청소 및 폐기물 수거, 폐기하는 모습

MC 근로자가 연마 블라스팅 작업을 마친 후에는 보호구를 그대로 착용한 채로 챔버 안을 깨끗이 청소합니다. 사용한 연마재 등 오염물질을 적정하게 수거해서 가능한 빨리 폐기합니다. 청소하고 수거한 연마재 등 폐기물은 지정된 용기에 분리하여 보관하고, 유출이나 누출을 막기 위해 적절한 라벨을 붙이고 밀폐합니다.

〈클로징〉

MC 연마 블라스팅 작업 근로자의
 생명과 안전을 지키는
 안전보건 가이드!

- 약지 손가락 들어 올리며

MC 우리 꼭 지키기로 약속해요!

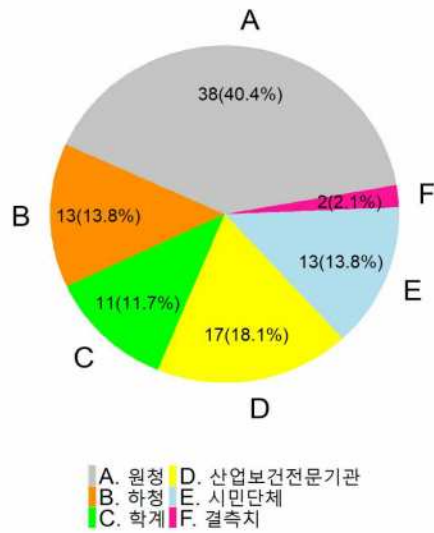
8. 안전 보건 가이드 개발 필요성 평가

- 전자산업의 각종 공정 설비를 정비하는 작업에서 발생하는 안전보건 위험을 관리하기 위한 안전보건 가이드 개발의 필요성, 활용성에 관한 평가를 산업보건전문가 총 94명을 대상으로 설문으로 진행하였고(구조 설문지 부록 4 참조), 설문은 응답자가 근무하는 장소(원청, 하청 등), 산업보건 전문 경력 등 특성별로 전자산업 안전보건 가이드 개발 필요성과 활용성 등 4개 분야별로 평가한 결과를 나타냈다.

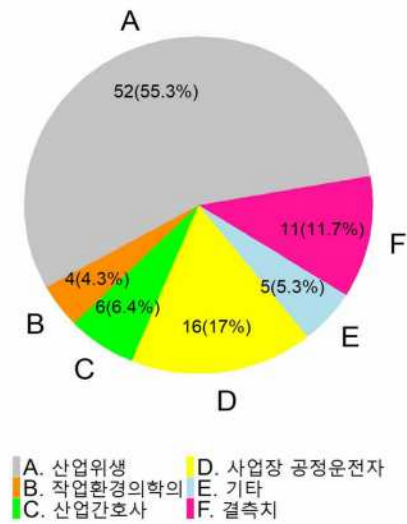
1) 평가 전문가 분포

- 설문응답자의 근무지는 원청 사업장과 하청(협력기관)이 각각 38(40.4%), 13(13.8%)곳이었고, 학계(교육기관) 및 산업보건전문기관(측정기관, 건강센터, 법인 등)이 각각 11(11.7%), 17(18.1%)곳이었다. 시민단체(반올림)도 13(13.8%)곳이 참여했다. 이들 중 상당 수는 산업위생 분야 전공자(52명, 55.3%)이거나 사업장 공정운전자(16명, 17%)였으며 경력은 10년 이상(40명, 42.6%)이 대부분이었다[그림 III-63]
- 설문응답자의 근무지 기관별로 구분한 분포는 <표 III-64>과 같다.

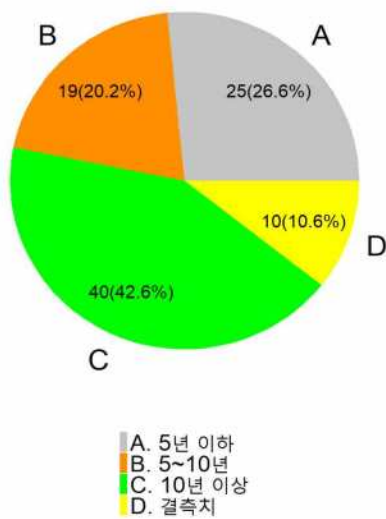
근무지



전문 분야



근무 경력



[그림 III-63] 산업보건 전문 경력의 응답 결과

〈표 III-64〉 기관별 전문 분야별 응답자의 분포

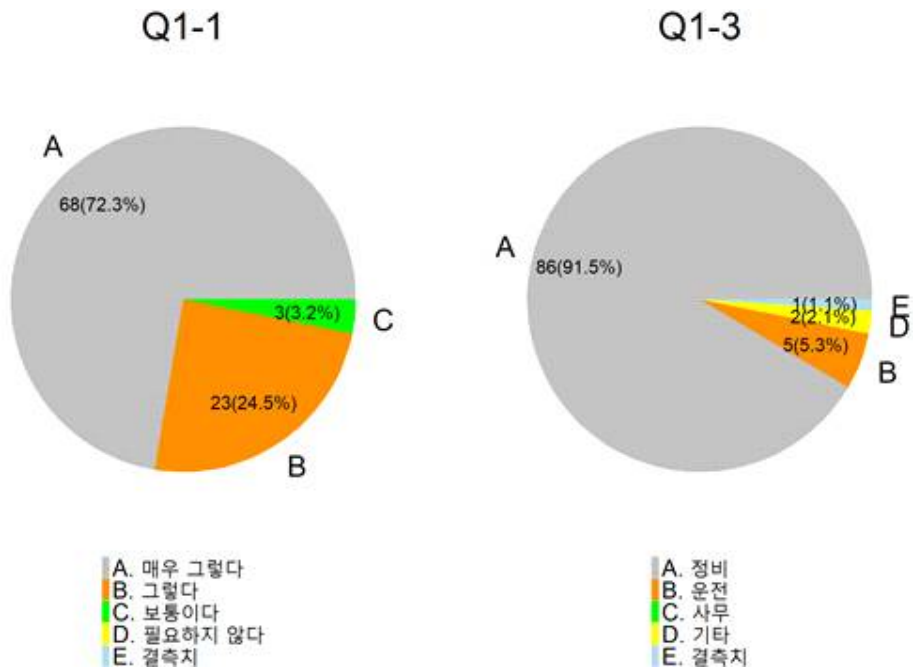
근무지	원청 사업장	원청 협력사업 장	산업보건 교육기관	산업보건 전문기관 †	시민단체 *	결측치
빈도 (상대빈도)	38 (40.4%)	13 (13.8%)	11 (11.7%)	17 (18.1%)	13 (13.8%)	2 (2.1%)

† 측정기관, 근로자 건강센터, 법인 등

* 반올림

2) 반도체 등 전자산업 안전보건 가이드 개발의 필요성 평가

- 응답자 전체 94명(100%)이 ‘안전보건공단이 전자산업 공정 설비 정비 (주로 하청) 근로자를 위한 표준 안전보건 가이드를 개발할 필요’(Q1-1)가 있다고 생각하였고, 특히 91명(96.8%)은 개발 필요성에 긍정적으로 답변하였다. 안전보건 가이드 개발 시 가장 높은 우선 순위의 직무(Q1-3)로 정비를 뽑았다(86명, 91.5%)[그림 III-64].



[그림 III-64] 전자산업 안전보건 가이드 개발의 필요성 관련 응답 결과

- 설문응답자의 근무지 기관별로 구분한 안전보건가이드 개발 필요성 분포도 기관별로 큰 차이가 없다<표 III-65>. 응답한 기관 대부분이 안전보건 가이드 개발 필요성을 “그렇다” 이상으로 응답했다. 일부 “보통”을 응답한 사례도 있었지만 소수(1~2곳)였다.

〈표 Ⅲ-65〉 전문 분야별 안전보건가이드 개발의 필요성의 응답 분포

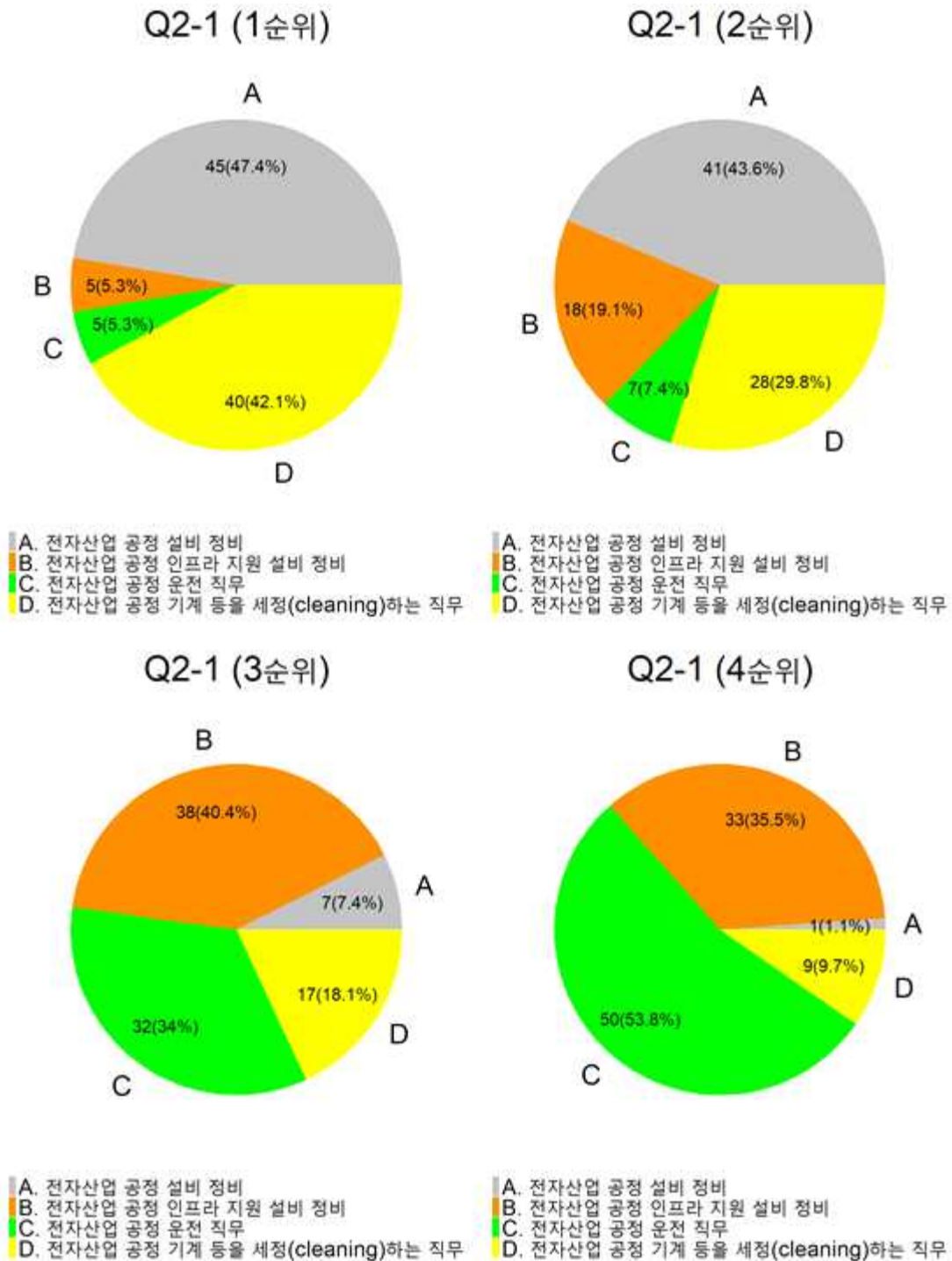
근무지	매우 그렇다	그렇다	보통이다	필요하지 않다	결측치
원청 사업장	25 (65.8%)	12 (31.6%)	1 (2.6%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
원청 협력사업장	8 (61.5%)	3 (23.1%)	2 (15.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
교육기관	9 (81.8%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
산업보건 전문기관	12 (70.6%)	5 (29.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
시민단체	12 (92.3%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
결측치	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
합계	68 (72.3%)	23 (24.5%)	3 (3.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)

3) 전자산업 안전보건 가이드 개발 대상 순위 평가

- 전자산업 안전보건 가이드 개발 대상 순위(Q2-1)를 정할 때, 1순위로 ‘전자정비 공정설비 정비’(45명, 47.4%)와 ‘전자산업 공정 기계 등을 세정하는 직무’(40명, 42.1%)를 뽑았고, 2순위로도 이 두 직무가 가장 많이 뽑혔다[그림 Ⅲ-65].
- 설문응답자의 근무지 기관별로 안전보건가이드 개발 필요성 우선 순위를 나타냈다(표 Ⅲ-66). 대부분 기관에서 안전보건가이드 개발 우선 순위로 공정설비 정비(28.6%~58.8%)와 세정작업(23.5%~57.1%)을 우선으로 뽑았다. 세정 작업은 주로 원청 사외 협력사업장에서 담당한다.

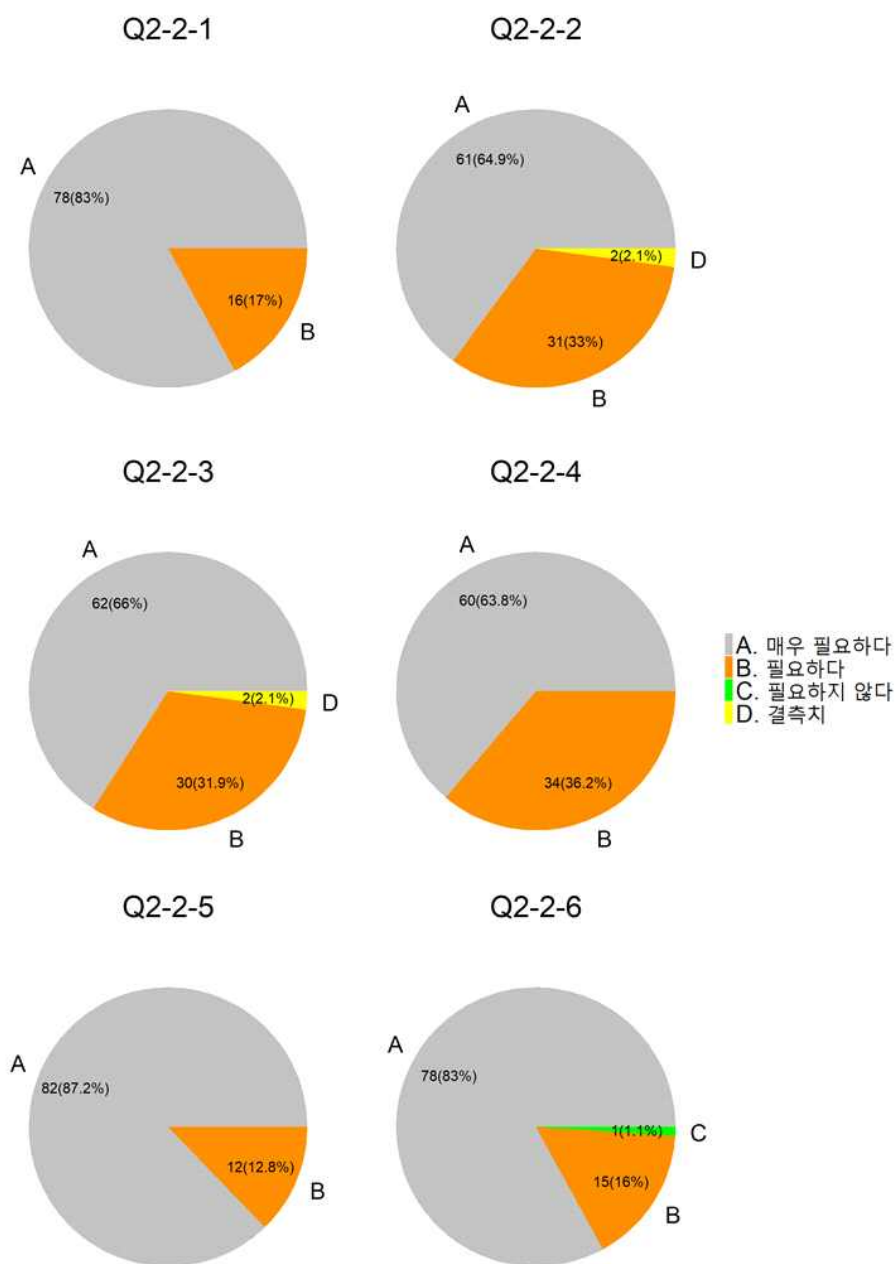
〈표 III-66〉 전문 분야별 안전보건가이드 개발 대상 우선 순위의 응답 분포

순 위	근무지	설비 정비	인프라 지원 설비 정비	운전 직무	세정 직무
1	원청 사업장	20 (52.6%)	0 (0.0%)	2 (5.3%)	16 (42.1%)
	원청 협력사업장	7 (53.8%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	5 (38.5%)
	교육기관	4 (36.4%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	5 (45.5%)
	산업보건 전문기관	10 (58.8%)	1 (5.9%)	2 (11.8%)	4 (23.5%)
	시민단체	4 (28.6%)	1 (7.1%)	1 (7.1%)	8 (57.1%)
	결측치	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (100%)
	합계	45 (47.4%)	5 (5.3%)	5 (5.3%)	40 (42.1%)
2	원청 사업장	13 (34.2%)	10 (26.3%)	4 (10.5%)	11 (28.9%)
	사업장 협력기관	4 (30.8%)	4 (30.8%)	2 (15.4%)	3 (30.8%)
	교육기관	7 (63.6%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	3 (27.3%)
	산업보건 전문기관	7 (41.2%)	2 (11.8%)	1 (5.9%)	7 (41.2%)
	시민단체	8 (61.5%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	4 (30.8%)
	결측치	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	합계	41 (43.6%)	18 (19.1%)	7 (7.4%)	28 (29.8%)
3	원청 사업장	5 (13.2%)	14 (36.8%)	10 (26.3%)	9 (23.7%)
	원청 협력사업장	1 (7.7%)	5 (38.5%)	6 (46.2%)	1 (7.7%)
	교육기관	0 (0.0%)	5 (45.5%)	4 (36.4%)	2 (18.2%)
	산업보건 전문기관	0 (0.0%)	5 (29.4%)	8 (47.1%)	4 (23.5%)
	시민단체	1 (7.7%)	7 (53.8%)	4 (30.8%)	1 (7.7%)
	결측치	0 (0.0%)	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	합계	7 (7.4%)	38 (40.4%)	32 (34.0%)	17 (18.1%)
4	원청 사업장	0 (0.0%)	14 (36.8%)	22 (57.9%)	2 (5.3%)
	원청 협력사업장	1 (7.7%)	3 (23.1%)	5 (38.5%)	4 (30.8%)
	교육기관	0 (0.0%)	3 (27.3%)	7 (63.6%)	1 (9.1%)
	산업보건 전문기관	0 (0.0%)	9 (52.9%)	6 (35.3%)	2 (11.8%)
	시민단체	0 (0.0%)	4 (33.3%)	8 (66.7%)	0 (0.0%)
	결측치	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (100%)	0 (0.0%)
	합계	1 (1.1%)	33 (35.5%)	50 (53.8%)	9 (9.7%)



[그림 III-65] 전자산업 안전보건 가이드 개발 대상 우선 순위 설문 결과

- 1차로 개발된 전자산업 일부 공정 설비 정비와 세정 직무관련 세부 직무에서의 안전보건 가이드 필요성을 평가(Q2-2)했을 때, ‘공정 설비 정비’(Q2-2-1), ‘이온주입’(Q2-2-4), ‘세정 작업’(Q2-2-5)에 대한 개발 필요성은 94명(100.0%) 동의하였다. ‘증착’(Q2-2-2), ‘식각’(Q2-2-3), ‘연마 블라스팅 세정작업’(Q2-2-6)에서는 92명(97.9%)이상이 필요성에 동의하였다[그림 III-66]
- 설문응답자의 근무지 기관별로 6종의 안전보건가이드 개발 필요성에 모두 동의하는 것으로 응답했다<표 III-67>. 모든 기관에서 “매우 필요하다”(52.9%~100%) 응답이 “필요하다”(0.0%~47.1%)보다 높았다.



[그림 III-66] 전자산업 공정 설비 정비와 세정의 세부 직무별 가이드 개발
필요성 설문 결과

〈표 III-67〉 전문 분야별 전자산업 공정 설비 정비와 세정의 세부 직무별 가이드
개발 필요성의 응답 분포

세부 직무	근무지	매우 필요하다	필요하다	필요하 지 않다	결측치
공정 설비 정비	원청 사업장	33 (86.8%)	5 (13.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	원청 협력사업장	10 (76.9%)	3 (23.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	교육기관	9 (81.8%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	산업보건 전문기관	12 (70.6%)	5 (29.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	시민단체	12 (92.3%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	결측치	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	합계	78 (83.0%)	16 (17.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
증착	원청 사업장	25 (65.8%)	13 (34.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	원청 협력 사업장	8 (61.5%)	5 (38.5%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	교육기관	7 (63.6%)	4 (36.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	산업보건 전문기관	9 (52.9%)	8 (47.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	시민단체	12 (92.3%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	결측치	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (100%)
	합계	61 (64.9%)	31 (33.0%)	0 (0.0%)	2 (2.1%)
식각	원청 사업장	24 (63.2%)	14 (36.8%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	원청 협력 사업장	8	5	0	0

세부 직무	근무지	매우 필요하다	필요하다	필요하 지 않다	결측치
		(61.5%)	(38.5%)	(0.0%)	(0.0%)
	교육기관	7 (63.6%)	4 (36.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	산업보건 전문기관	11 (64.7%)	6 (35.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	시민단체	12 (92.3%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	결측치	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (100%)
	합계	62 (66.0%)	30 (31.9%)	0 (0.0%)	2 (2.1%)
이온주입	원청 사업장	22 (57.9%)	16 (42.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	원청 협력사업장	7 (53.8%)	6 (46.2%)	0 (0.0%)	(0.0%)0
	교육기관	7 (63.6%)	4 (36.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	산업보건 전문기관	10 (58.8%)	7 (41.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	시민단체	12 (92.3%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	결측치	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	합계	60 (63.8%)	34 (36.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
세정 작업	원청 사업장	35 (92.1%)	3 (7.9%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	원청 협력사업장	10 (76.9%)	3 (23.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	교육기관	9 (81.8%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	산업보건 전문기관	13 (76.5%)	4 (23.5%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	시민단체	13 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	결측치	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)

세부 직무	근무지	매우 필요하다	필요하다	필요하 지 않다	결측치
	합계	82 (87.2%)	12 (12.8%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
연마 블라스팅 세정 작업	원청 사업장	34 (89.5%)	3 (7.9%)	1 (2.6%)	0 (0.0%)
	원청 협력사업장	10 (76.9%)	3 (23.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	교육기관	9 (81.8%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	산업보건 전문기관	12 (70.6%)	5 (29.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	시민단체	13 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	결측치	0 (0.0%)	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	합계	78 (83.0%)	15 (16.0%)	1 (1.1%)	0 (0.0%)

4) 전자산업 공정 설비 정비 안전보건 가이드 구성 적정성 평가

〈표 III-68〉 전문 분야별 안전보건가이드 가이드 구성 및 내용 적정성 평가의 응답 분포

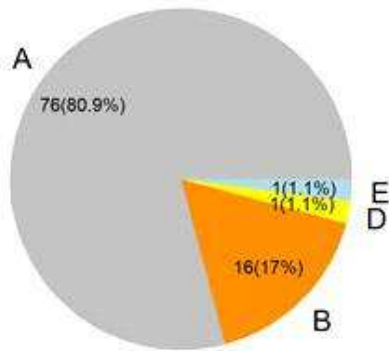
구분	근무지	적정하다	보통이다	적정하지 않다	기타	결측치
주요 구성	원청 사업장	31 (81.6%)	7 (18.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	원청 협력사업장	12 (92.3%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	교육기관	9 (81.8%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	산업보건 전문기관	15 (88.2%)	1 (5.9%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (5.9%)
	시민단체	9 (69.2%)	3 (23.1%)	0 (0.0%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)
	결측치	0 (0.0%)	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	합계	76 (80.9%)	16 (17.0%)	0 (0.0%)	1 (1.1%)	1 (1.1%)
내용	원청 사업장	29 (76.3%)	9 (23.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	원청 협력사업장	11 (84.6%)	2 (15.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	교육기관	9 (81.8%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	산업보건 전문기관	14 (82.4%)	2 (11.8%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (5.9%)
	시민단체	9 (69.2%)	3 (23.1%)	0 (0.0%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)
	결측치	0 (0.0%)	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	합계	72 (76.6%)	20 (21.3%)	0 (0.0%)	1 (1.1%)	1 (1.1%)

〈표 III-69〉 전문 분야별 안전보건가이드 가이드 분량 및 내용 이해도 평가 응답
분포

구분	근무지	적정하 다	보통이 다	많은 편이다	적은 편이다	기타	결측치
분량	원청 사업장	21 (55.3%)	12 (31.6%)	2 (5.3%)	3 (7.9%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	원청 협력사업장	7 (53.8%)	5 (38.5%)	0 (0.0%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	교육기관	11 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	산업보건 전문기관	7 (41.2%)	8 (47.1%)	1 (5.9%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (5.9%)
	시민단체	10 (76.9%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	2 (15.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	결측치	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	합계	56 (59.6%)	26 (27.7%)	5 (5.3%)	6 (6.4%)	0 (0.0%)	1 (1.1%)
구분	근무지	매우 그렇다	그렇다	보통이다	어렵다	기타	결측치
내용 이해 도	원청 사업장	12 (31.6%)	20 (52.6%)	6 (15.8%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	원청 협력사업장	5 (38.5%)	4 (30.8%)	3 (23.1%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	교육기관	4 (36.4%)	6 (54.5%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	산업보건 전문기관	4 (23.5%)	11 (64.7%)	1 (5.9%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (5.9%)
	시민단체	3 (23.1%)	8 (61.5%)	2 (15.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	결측치	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	합계	28 (29.8%)	49 (52.1%)	15 (16.0%)	1 (1.1%)	0 (0.0%)	1 (1.1%)

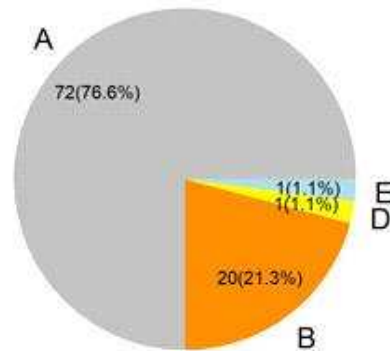
- 안전보건 가이드의 주요 구성(Q3-1), 내용(Q3-2), 분량(Q3-3)에 대해 각각 76명(80.9%), 72명(76.6%), 56명(59.6%)이 ‘적정하다’고 응답하였고, ‘보통이다’라고 응답한 사람을 포함하는 경우에는 각각 92명(97.9%), 92명(97.9%), 82명(87.3%)으로 대부분이 긍정 또는 중립적인 의견을 제시하였다[그림 Ⅲ-67].
- 안전보건 가이드의 내용 이해도(Q3-4)가 쉬운 지 여부에 대해서는 77명(81.9%)이 ‘매우 그렇다’ 또는 ‘그렇다’라고 응답을 하였고, ‘보통이다’까지 포함하면 총 92명(97.9%)가 응답하였다[그림 Ⅲ-67].
- 설문응답자의 근무지 기관별로 안전보건가이드 구성 및 내용 적정성에 대한 응답 결과는 “적정하다”가 가장 높았다(69.2%~92.3%). 반면 안전보건가이드 내용 분량이 “많은 편이다”(5.3%~5.9%) 혹은 “적은 편이다”(7.7%~15.4%) 응답도 있었다.<표 Ⅲ-69>. 안전보건가이드 분량은 대상 직무에 따라 사용하는 기업에 따라서 분량은 추가하거나 줄이는 등의 추가 작업이 필요할 것으로 판단한다.

Q3-1



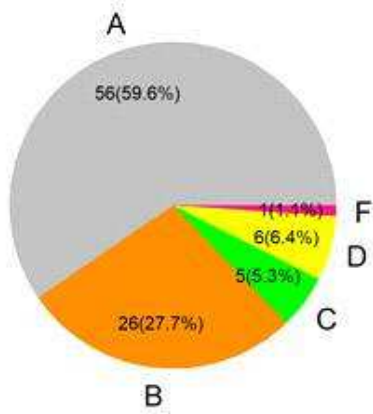
A. 적정하다
B. 보통이다
C. 적정하지 않다
D. 기타
E. 결측치

Q3-2



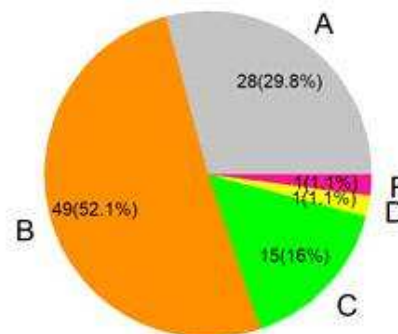
A. 적정하다
B. 보통이다
C. 적정하지 않다
D. 기타
E. 결측치

Q3-3



A. 적정하다
B. 보통이다
C. 많은 편이다
D. 적은 편이다
E. 기타
F. 결측치

Q3-4



A. 매우 그렇다
B. 그렇다
C. 보통이다
D. 어렵다
E. 기타
F. 결측치

[그림 III-67] 전자산업 안전보건 가이드 구성 적정성 관련 설문 응답

5) 전자산업 공정 설비 정비 작업에 대한 안전보건 가이드 활용 가능성 평가

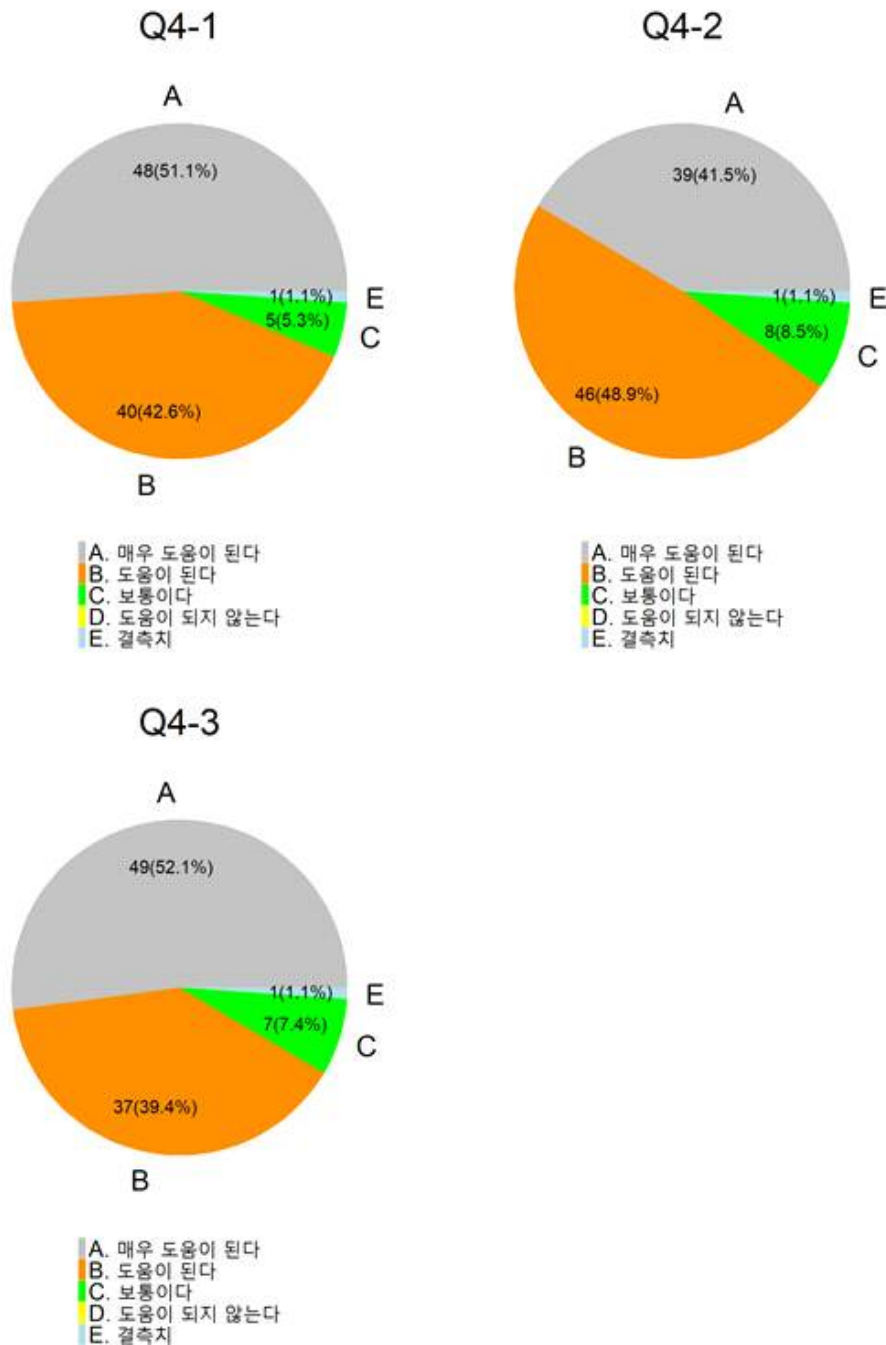
〈표 III-70〉 전문 분야별 안전보건가이드 가이드 활용 가능성 평가의 응답 분포

구분	근무지	매우 도움이 된다	도움이 된다	보통이다	도움이 되지 않는다	결측치
안전보건 관리	원청 사업장	20 (52.6%)	15 (39.5%)	3 (7.9%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	원청 협력사업장	9 (69.2%)	3 (23.1%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	교육기관	4 (36.4%)	6 (54.5%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	산업보건 전문기관	5 (29.4%)	11 (64.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (5.9%)
	시민단체	8 (61.5%)	5 (38.5%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	결측치	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	합계	48 (51.1%)	40 (42.6%)	5 (5.3%)	0 (0.0%)	1 (1.1%)
안전사고 및 직업병 예방	원청 사업장	17 (44.7%)	16 (42.1%)	5 (13.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	원청 협력사업장	6 (46.2%)	6 (46.2%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	교육기관	3 (27.3%)	8 (72.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	산업보건 전문기관	5 (29.4%)	9 (52.9%)	2 (11.8%)	0 (0.0%)	1 (5.9%)
	시민단체	6 (46.2%)	7 (53.8%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	결측치	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	합계	39 (41.5%)	46 (48.9%)	8 (8.5%)	0 (0.0%)	1 (1.1%)
안전보건 교육자료	원청 사업장	23 (60.5%)	14 (36.8%)	1 (2.6%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)

구분	근무지	매우 도움이 된다	도움이 된다	보통이다	도움이 되지 않는다	결측치
활용	원청 협력사업장	4 (30.8%)	6 (46.2%)	3 (23.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	교육기관	6 (54.5%)	5 (45.5%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	산업보건 전문기관	8 (47.1%)	8 (47.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (5.9%)
	시민단체	8 (61.5%)	4 (30.8%)	1 (7.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	결측치	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	합계	49 (52.1%)	37 (39.4%)	7 (7.4%)	0 (0.0%)	1 (1.1%)

○ 전자산업에서 공정이 유사한 사업장의 안전보건 관리에 도움이 되는 지에 대한 질문(Q4-1)에 88명(93.7%)이 ‘매우 도움’ 또는 ‘도움이 된다’라고 응답을 하였다. 또한, 응답자의 대부분(85명, 90.4%)은 전자산업 사업장에서 안전사고와 직업병 예방(Q4-2)에 ‘매우 도움’ 또는 ‘도움이 된다’고 생각하였고, 안전보건 교육자료로 활용(Q4-3)하는데 ‘매우 도움’ 또는 ‘도움이 된다’라고 생각하는 응답자는 86명(91.5%)이었다[그림 III-68].

○ ‘안전보건 관리’, ‘안전사고 및 직업병 예방’, 그리고 ‘안전보건 교육자료 활용’의 응답에서 ‘도움이 된다’이상으로 응답한 비율은 기관별로 큰 차이가 없었다<표 III-70>.



[그림 III-68] 전자산업 안전보건 가이드 활용 가능성 관련 설문 응답

IV. 안전보건가이드 활용 방안 및 추가 개발 대상 제안

.....

IV. 안전보건가이드 활용 방안 및 추가 개발 대상 제안

1. 안전보건가이드 활용 방안

- 본 연구에서 개발된 안전보건 가이드 6종은 전자산업 분야에 맞춰 특별히 만들어졌다. 이는 유사한 공정과 직무를 수행하는 다른 산업들에게도 보급하고 활용하도록 전략을 세워야 한다는 것을 의미한다.
- 이 가이드들은 전자산업의 다양한 공정 설비와 시설을 운영하며 마주칠 수 있는 안전보건 위험에 대처하는 데 필요한 정보를 제공한다. 또한, 이를 직접적으로 활용하거나, 공정, 작업, 기업의 특성과 필요에 따라 일부 개정하여 간접적으로 활용할 수 있다.
- 즉, 본 가이드를 기본으로 각 사업장의 특정 공정, 직무, 그리고 유해위험인자들의 발생 특성을 고려해 맞춤형으로 수정하거나 보완, 요약하는 등 다양한 형태로 활용될 수 있다. 이와 같은 유연성은 전자산업 뿐만 아니라 보다 광범위한 제조업 분야에 이 가이드를 적용할 수 있다.
- 본 연구에서 개발한 안전보건 가이드의 활용과 보급을 위해 다음과 같은 구체적인 방안들을 제안했다.

1) 안전보건공단 웹사이트에 게시

- 안전보건공단의 웹사이트는 현재 많은 이들이 안전보건 관련 정보를 얻기 위해 사용하는 플랫폼이다. 개발된 가이드를 KOSHA guide에 포함시켜 안전보건공단 웹사이트에 게시함으로써, 정보 접근성을 높이고, 이

용자들이 쉽게 참조할 수 있도록 만들수 있는 장점이 있다.

- 본 가이드를 KOSHA guide와 유사한 특성이 있으므로 KOSHA guide 홈페이지에 안내하는 방안을 검토할 것을 제안한다.

2) 안전보건공단 KOSHA guide 통합

- 안전보건가이드를 KOSHA guide의 일환으로 통합하는 것이다. 이 가이드는 국제적으로 통용될 수 있도록 설계되었으며, KOSHA guide에 포함시켜 국내는 물론 국제적으로도 널리 사용될 수 있게 심의 과정을 거치는 것을 목표로 한다.
- 현재, 보건관련 KOSHA guide는 대부분 시료 채취 및 분석방법과 관련 되는 것으로 총 221 종 중 대부분을 차지한다. 이 가이드들은 현장 근로자의 안전보건과는 직접적인 관련이 없다. 근로자를 유해인자로부터 보호하는 보건 guide 개발이 필요하다. 본 연구에서 개발한 공정 설비(이온주입, 식각, 증착) 정비, 세정(cleaning), 연마블라스팅 등은 안전 보건 위험이 높은 작업으로 KOSHA guide 개발이 필요한 직무다.

3) 전자산업 원청을 통한 보급

- 원청 업체를 통해 하청업체에 이 가이드를 배포하는 방법이다. 예를 들면, 삼성전자, SK 하이닉스, LG 디스플레이와 같은 대기업들이 내부적으로나 협력업체에 이 가이드를 제공함으로써, 현장에서의 안전성과 보건 관리를 향상시킬 수 있다.
- 본 안전보건가이드는 반도체와 디스플레이 제조 공정 설비 정비를 바탕으로 개발된 것이므로 삼성전자, SK 하이닉스, 엘지 디스플레이 공정 설비 정비 작업에 활용하는 것이 가장 직접적이고 효과적이다.

4) 산업보건학회지를 통한 소개

- 한국산업보건학회지에 이 가이드를 소개하는 논문을 투고하여 산업 현장의 전문가들 사이에서 인지도를 높이고, 실제 작업 현장에 보급될 수 있도록 하는 것이다. 11월에는 전자산업 공정의 세정, 정비, 증착 등을 다룬 안전보건 가이드에 관한 논문을 제출할 계획이다.
- 전자산업 공정에서 사용한 부품, 기계류 세정(cleaning) 작업 안전 보건 가이드
- 전자산업 공정 설비 정비 작업 안전보건가이드
- 전자산업 증착, 식각, 이온주입 공정 정비 작업 안전보건가이드

5) 국제 표준 가이드 개발

- 이 가이드를 기반으로 반도체 산업의 국제적인 안전보건 표준 가이드를 개발하는 근거로 활용할 수 있다. 즉, 본 안전보건가이드를 반도체 국제 표준으로 개발하는데 기본으로 활용할 수 있다.
- 현재 국제반도체 협회가 개발한 21종의 SEMI 반도체 표준지침은 모두 설비, 소자, 부품 등 안전 관련 가이드이다. 보건중심의 반도체 표준을 본 안전보건가이드를 활용해서 개발할 필요가 있다.
- 정부는 용인 첨단 반도체 클러스터(cluster)(국가산단)를 27년에 첫 생산을 진행하고 있다. 126만 평의 대규모 면적의 용인 반도체 클러스터 메가급 산업단지 개발사업으로 국내외 많은 반도체 등 기업들이 모인다. 우리나라가 반도체 공정의 안전보건 국제 표준을 이끌 전략을 세울 필요가 있다.

2. 안전보건가이드 추가 개발 대상 제안

전자산업 공정 설비 및 공정지원 설비 정비에 대한 안전보건가이드 개발은 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단한다. 8항 개발 필요성과 활용평가에

서 원하청 공정전문가는 물론 산업보건전문가와 반올림 등 시민단체 등 그룹간 차이없이 90 % 이상 높은 비율로 개발이 필요하고 활용가치가 있다고 응답했기 때문이다(연구결과 8장 “안전보건가이드 개발 필요성 평가, 346페이지 참조). 본 연구에서 안전보건가이드 개발이 시급하게 필요한 공정이나 직무는 아래와 같다.

○ 포토 등 반도체 공정 설비 정비 작업(반도체 등 원청 기업 중심)

반도체, 디스플레이 등 전자산업 공정설비에서 위험이 상대적으로 높은 정비직무가 대상이다. 본 연구에서 수행한 식각, 이온주입, 증착을 제외한 포토, 확산, 산화 등이 대상이다

○ 산, 유기용제 등 세정작업(전자산업 하청 기업 중심)

반도체, 디스플레이 등 전자산업 공정에서 사용한 기계, 부품, 소자 등을 추가로 화학물질을 이용하여 세정하는 공정을 말함. 강산, 강알칼리, 유기용제 등을 사용하는 공정으로 주로 사외 협력업체가 담당함. 화학물질 중독 및 노출이 많은 것으로 알려져 있다

○ 전자산업 크린 룸에서 세정 작업(반도체 등 원청 기업 중심)

반도체, 디스플레이 등 전자산업 공정에서 원료인 웨이퍼 등을 공정마다 화학물질 등을 이용해서 세정하는 공정임. 화학물질 등 유해인자 노출이 위험한 공정에서 직무가 대상이다.

○ 전자산업 크린 룸에서 폐 화학물질 안전한 관리(전자산업 원/하청 기업 모두 해당)

반도체, 디스플레이 등 전자산업 공정에서 발생한 각종 화학물질과 화학물질이 묻은 폐기물을 보관하고 처리하는 작업이다.

○ 전자산업 폐수 처리 설비 정비작업(전자산업 원/하청 기업 모두 해당)

반도체, 디스플레이 등 전자산업 공정에서 발생한 화학물질을 처리하는 폐수처리설비의 정비직무임. 각종 화학물질 노출과 밀폐공간 작업의 위험이 있다.

○ 화학물질 등 크린 룸 공정 지원 설비 정비 작업(전자산업 원청 기업 중심)

반도체, 디스플레이 등 전자산업 공정의 원활한 운영을 위한 각종 지원 인프라 시설임. 화학물질 공급 등 각종 지원 공정과 직무를 말함. 여러 지원 공정 중 상대적으로 위험이 큰 공정과 직무가 해당된다.

V. 결 론

.....

V. 결 론

- 본 연구는 반도체, LCD, OLED 제조공정 등 전자산업에서 적용할 수 있는 유해·위험 작업 6가지에 대한 안전보건 가이드를 개발했다. 이를 위해서 ▲ 반도체, LCD, OLED 제조공정의 운전과 정비 작업에서 발생하는 유해·위험 요인에 대한 근로자의 노출 특성 고찰, ▲ 정비 작업별 하청 현황 추정, ▲ 삼성전자, SK하이닉스, LG디스플레이, 삼성디스플레이, DB하이텍 과거 3년 동안(2019~2021년) 작성된 작업환경측정 자료 분석, ▲ 전자산업에서 과거 10년 동안 발생한 산업재해 보상 자료 분석, ▲ 전자산업의 안전보건 위험을 관리하기 위한 해외의 법적 규정, 권고, 활동 등을 고찰을 수행했다.
- 본 연구는 아래와 같이 전자산업에 직접 활용할 수 있는 6종의 안전보건가이드를 개발했다. 본 안전보건가이드를 기본으로 기업, 공정, 작업, 설비 등 다양한 특성에 따라 수정해서 보완해서 개발하고 사용할 수 있다.
 - 전자산업 증착 공정 설비 정비 작업
 - 전자산업 공정 설비 정비 작업
 - 전자산업 일반 세정 작업
 - 전자산업 이온주입 공정 설비 정비 작업
 - 전자산업 식각공정 설비 정비 작업
 - 전자산업 연마블라스팅 세정작업
- 이 중 “전자산업에서 사용한 장비, 기계, 부품 등을 세정하는 블라스팅 작업”은 현장의 공정 등을 토대로 영상으로 제작했다. 총 9분 동안 블라스팅 작업 장면을 현장에서 촬영하고 삽화, 그림 등으로 생동감있게 안전보건가이드를 담았다. 주요 내용은 다음과 같다.
 - 연마 블라스팅 작업의 위험과 관리 방법
 - 연마 블라스팅 작업자의 보호구 착용

- 송기마스크 안전 관리 방법 등
- 본 연구에서 개발한 유해·위험 작업 6가지에 대한 안전보건 가이드는 ▲ KOSHA 안전보건 guide 지침으로 직접 활용할 수 있다. 또한 반도체, 디스플레이 등 전자산업 원청, 하청 안전보건가이드로 활용할 수 있다. 추가 연구를 통해서 반도체 산업에 적용할 수 있는 국제표준을 개발하는 직접 활용할 수 있다.
- 대부분 원청 사업장 안과 밖에서 협력업체가 담당하는 전자산업 공정 설비 및 공정지원 설비 정비에 대한 안전보건가이드 개발은 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단한다. 안전보건가이드 개발 필요성과 활용평가가 설문에서 원하청 공정전문가는 물론 산업보건전문가와 반올림 등 시민단체 등 그룹간 차이없이 85 % 이상 높은 비율로 안전보건가이드 개발이 필요하고 활용가치가 있다고 응답했다.

참고문헌

고용노동부. 작업환경측정 실시결과. 2022.

고용노동부. [Internet]. 2023. 1차 ‘대·중소기업 안전보건 상생협력 사업’ 84개 모기업, 1,501개 협력업체 선정. 2023년 4월 4일. [cited 2023 April 27]

<https://eiec.kdi.re.kr/policy/materialView.do?num=237168>

박동욱, 윤충식 등. 반도체 근로자 질병의 작업관련 논란으로 본 우리나라 산업위생 활동 개선방향. 한국산업보건학회지. 2012; 22(1): 1-8

박동욱 등. 반도체 산업의 웨이퍼 가공 공정 유해·위험 요인 고찰과 활용 - 화학물질과 방사선 노출을 중심으로. 한국산업보건학회지. 2016; 26(1): 1-10

박승현, 박해동, 노지원 등. LCD 제조공정에서 사용되는 화학물질의 종류 및 특성. 한국산업보건학회지. 2019; 29(3): 310-321

박승현, 신정아, 박해동 등. 반도체 제조 공정에서 발생 가능한 부산물. 한국산업보건학회지. 2012; 22(1): 52-59

박승현, 신인재, 박해동 등. 반도체 조립공정의 화학물질 노출특성 및 작업환경관리. 한국산업보건학회지. 2014; 24(3): 272-280

산업안전보건공단. 전자산업생태계 안전보건 모델. 2023.

산업안전보건연구원. 반도체·디스플레이산업 근로자를 위한 안전보건모델 (원청용). 2020

산업안전보건공단. [Internet]. 1999 주물 및 블라스팅 작업 이직 근로자에서

발생한 폐암; 2006년 8월 7일. [cited 2023 April 27]. Available from:https://www.kosha.or.kr/kosha/data/occupationalDisease.do?mode=view&articleNo=348304&article.offset=0&articleLimit=10&srSearchVal=%EB%B8%94%EB%9D%BC%EC%8A%A4%ED%8C%85&srSearchKey=article_title

손미아, 백도명, 박미진 등. 전자산업의 보건관리 실태조사 및 근로자 보호방안 마련- 반도체 제조업 중심. 산업안전보건연구원. 2018

정은교, 강중혁, 김준범 등. LCD 제조공정 종사근로자의 극저주파자기장 노출특성 연구. 한국산업보건학회지. 2022: 32(1): 10-20

정기효, 정은교, 김준범 등. LCD 제조공정의 이온화 장치에 대한 전리방사선 지역노출특성 분석. 한국산업보건학회지. 2021: 31(4): 342-352

정은교, 김갑배, 정광재 등. 반도체 제조 근로자의 극저주파 자기장 노출 평가. 한국산업보건학회지. 2012: 22(1): 42-51

정은교, 박현희, 신정아 등. 전자산업 청정실의 작업환경 및 유해물질농도 평가. 한국산업보건학회지. 2009:19(3)280~287

최광민, 정명구, 안희철 등. 반도체 메탈공정 및 1차 스크리버에서 생성되는 파우더 부산물의 물리화학적 특성분석. 한국산업보건학회지. 2015: 25(3): 294-300

최광민, 여진희, 정명구 등. 반도체 작업환경 내 부산물로 생성되는 실리카 입자의 크기, 형상 및 결정 구조. 한국산업보건학회지. 2015: 25(1): 36-44

최광민, 이지은, 정명구 등. 외기 오존 농도에 따른 반도체 작업환경 및 사무실에서의 오존 농도 변화 연구. 한국산업보건학회지. 2016: 26(2):

188-197

정은교, 김기웅, 노지원 등. LCD 제조업 작업환경관리 매뉴얼 개발 연구. 산업안전보건연구원. 2017-연구원-1023, 2017.

한국반도체산업협회. [Internet]. 1998. 환경안전보건지원; 2020 SEP 29. [cited 2023 April 27]. Available from: https://www.ksia.or.kr/guideKSIA.php?data_tab=10

Centers for Disease Control and Prevention. [Internet]. 1996. Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards ; 2019 JUN 6. [cited 2023 April 27]. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/81-123/>

EUROPEAN semiconductors Industry Association. [Internet]. 2020 Welcome to ESIA; 2020 DEC 22. [cited 2023 April 27]. Available from: <https://www.eusemiconductors.eu/esia>

Harrison M. Semiconductor manufacturing hazards, Clinical Principles of environmental health. Williams and Wilkins. Baltimore, Maryland. 1992. pp 472-504

Health and Safety Executive. Managing risks and risk assessment at work (Example risk assessment for a warehouse). 2023.

Health and Safety Executive. [Internet]. 2000. Simple health safety; 2019 NOV 21. [cited 2023 April 27]. Available from: <https://www.hse.gov.uk/simple-health-safety/risk/warehouse.pdf>

Health and Safety Executive. Managing risks and risk assessment at work (Risk Assessment Template). 2023.

Health and Safety Executive. [Internet]. 2000. Risk assessment template and examples; 2019 NOV 21. [cited 2023 April 27]. Available from:
<https://www.hse.gov.uk/simple-health-safety/risk/risk-assessment-template-and-examples.htm>

Health and Safety Executive. Managing risks and risk assessment at work (Example risk assessment for maintenance work in a factory). 2023.

Chen CY, Chang KC, Huang CH, Lu CC. Study of chemical supply system of high-tech process using inherently safer design strategies in Taiwan. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2014;29:72-84

International C. Chemical Exposure and Risk Assessment During the Manufacturing Process. 2023.

International Social Security Association, Guide for Risk Assessment in Small and Medium Enterprises, ISSA, 2010.

Japan Industrial Safety and Health Association. [Internet]. 2000. 労働安全衛生法 ; 2000 OCT 7. [cited 2023 April 27]. Available from:
<https://www.jaish.gr.jp/anzen/hor/hombun/hor1-1/hor1-1-1-m-0.htm>

Japan Industrial Safety and Health Association. [Internet]. 2000. 半導体製造工程における安全衛生対策指針について ; 2000 OCT 7. [cited 2023 April 27]. Available from:

<https://www.jaish.gr.jp/anzen/hor/hombun/hor1-29/hor1-29-40-1-0.htm>

JAPAN Ministry of Health, Labour and Welfare. [Internet]. 2001. 安全衛生関係リーフレット等一覧; 2014 MAY 23. [cited 2023 April 27]. Available from: https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/gyousei/anzen/index.html

Ministry of Manpower (MOM). A Guide on Health Hazards and Their Control in Wafer Fabrication Facilities; Occupational Safety & Health Division, Ministry of Manpower: Singapore. 1998.

Occupational Safety and Health Administration. [Internet]. 1997. Safety and Health Topics Semiconductors; 2020 Oct 17. [cited 2023 April 27]. Available from: <https://www.osha.gov/semiconductors>

Occupational Safety and Health Administration. [Internet]. 1997. Safety and Health Topics Semiconductors silicon ; 2020 Oct 17. [cited 2023 April 27]. Available from: <https://www.osha.gov/semiconductors/silicon>

Occupational Safety and Health Administration. [Internet]. 1997. Safety and Health Topics Semiconductors solutions arsenic ; 2020 Oct 17. [cited 2023 April 27]. Available from: <https://www.osha.gov/semiconductors/solutions/arsenic>

Occupational Safety and Health Administration. [Internet]. 1997.

Safety and Health Topics Semiconductors gallium-arsenide ;
2020 Oct 17. [cited 2023 April 27]. Available from:
<https://www.osha.gov/semiconductors/gallium-arsenide>

Occupational Safety and Health Administration. [Internet]. 1997.
State Plans ; 2019 OCT 18. [cited 2023 April 27]. Available
from: <https://www.osha.gov/stateplans/>

Ohio administrative code. [Internet]. 2013. Ohio Admin. Code
1301:7-7-18 ; 2023 OCT 23. [cited 2023 April 27]. Available
from:
<https://casetext.com/regulation/ohio-administrative-code/title-13017-division-of-state-fire-marshal/chapter-13017-7-ohio-fire-code/section-13017-7-18-rescinded-semiconductor-fabrication-facilities>

Ohio administrative code. [Internet]. 2013. Ohio Admin. Code
1301:7-7-18 ; 2023 OCT 23. [cited 2023 April 27]. Available
from:
<https://casetext.com/regulation/ohio-administrative-code/title-13017-division-of-state-fire-marshal/chapter-13017-7-ohio-fire-code/section-13017-7-18-rescinded-semiconductor-fabrication-facilities>

OSTECH GROUP. [Internet]. 2018.
会社が遵守すべき「労働安全衛生法」とは？わかりやすく説明; 2018 OCT
22. [cited 2023 April 27]. Available from:
https://www.robot-befriend.com/blog/industrial_safety_and_health_act/

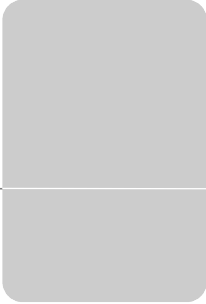
Quirk M, Serda J. Semiconductor manufacturing technology: Prentice Hall Upper Saddle River, NJ; 2001.

Semiconductors Industry Association. [Internet]. 2013
Semiconductors; 2013 NoV 13. [cited 2023 April 27]. Available
from: <https://www.semiconductors.org/>

UNECE. [Internet]. 2003. About the GHS; 2005 APR 7. [cited 2023
April 27]. Available from:
[http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_welcome_e.ht
ml](http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_welcome_e.html)

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

Wald PH, Jones JR. Semiconductor manufacturing: an introduction
to processes and hazards. American journal of industrial
medicine. 1987;11:203-21.



Abstract

Developing an Occupational Safety and Health (OSH) Guide for High-Risk Maintenance Works(MW) within Processing Facilities in the Electronics Industry.

Objectives

The main objective of this study is to create an Occupational Safety and Health (OSH) guide for High-Risk Maintenance Tasks, tailored specifically for Maintenance Work (MW) in the Semiconductor Process Facility in the Electronics Industry. This initiative comprises five major components to achieve the primary goal.

- 1) Conducting a comprehensive review of the harmful substances linked to LCD, OLED, and semiconductor operations to gain an understanding of the potential risks.
- 2) Estimating the degree of contractor participation within the parent company's supply chain, with a specific focus on the assignment of tasks that pose a high risk.
- 3) Analysing work environment measurement data from five prominent electronics corporations during the preceding three-year period to evaluate the safety and health conditions.

- 4) Examination of the compensated industrial accident data from the electronics industry in the last ten years to comprehend the frequency and reasons behind such incidents.
- 5) Assessment of OSH policies relevant to the electronics sector in Japan, Taiwan, and the US, with a view to comparing these policies to global standards.

Methods

After a thorough analysis of five major components, high-risk duties and procedures in the electronics industry were pinpointed, which require comprehensive OSH guides. These guidelines should be structured based on risk assessments, applicability, and feasibility. Chemical exposure, ergonomic risks, machinery-related injuries, respiratory hazards, and other safety concerns are among the primary safety and health hazards linked to maintenance work in fabrication facilities.

Results

Finally, six MW tasks within the electronics processing facility were selected. The following is a comprehensive guide that can be adapted for MW within electronic operation facilities.

- 1) General Occupational Safety and Health (OSH) guides for MW.
- 2) OSH guidelines for Deposition Facility MW: This section addresses safety measures during the deposition process, which involves layering materials onto the wafer substrate using techniques like

Chemical Vapor Deposition (CVD) or Physical Vapor Deposition (PVD).

- 3) OSH guidelines for Etching Facility MW: This section outlines safety protocols for the etching process where material is selectively removed from the substrate surface using chemical agents, plasma, or other means, defining patterns as per the device's design.
- 4) Safety Precautions for Ion Implantation Facility MW: This document outlines safety measures to be observed during ion implantation, a process that involves accelerating ions of a dopant material and implanting them into a substrate to modify its electrical properties.
- 5) Cleaning Guidelines for Electronic Process Machinery Components: These guidelines provide instructions for cleaning machinery components, parts, and other items used in electronic processing.
- 6) Abrasive Blasting Procedures: This document details procedures for abrasive blasting. Safety protocols for the abrasive blasting cleaning method, using various abrasive materials such as silica, metal and grit, according to specific cleansing requirements.

The OSH guide contains around 11 to 12 components, spread over roughly 20–25 pages. These guidelines were created in conformity with worldwide regulations, including ISO and SEMI, to guarantee a superior level of safety and conformity. It is crucial to implement safety and health measures before commencing any maintenance work (MW) to ensure the protection of maintenance personnel. Additionally,

incorporating real-case scenarios from compensated industrial accidents and occupational disease cases augment the understanding of the OSH guide for maintenance workers. Additionally, to ensure a clear understanding and adherence to the safety protocols outlined, visual aids such as cartoons and photos have been incorporated.

Keywords: Occupational Safety and Health (OSH) Guide, Maintenance Works(MW) , Processing Facility, Electronics Industry. Abrasive Blasting Procedures, Cleaning, Deposition Facility, Etching Facility, Ion Implantation Facility

부록

1. 미국 OSHA 홈페이지에서 관련안전보건자료를 제공하고 있는 216개의 안전보건 토픽 리스트

Accident Investigation(사고 조사)
Agricultural Operations(농업 작업)
Airline Industry(항공사 산업)
Ammonia Refrigeration(암모니아 냉동)
Anthrax(탄저균)
Apparel and Footwear Industry(의류 및 신발 산업)
Arsenic(비소)
Asbestos(석면)
Asphalt (Bitumen) Fumes(아스팔트 흠)
Autobody Repair and Refinishing(자동차 보수 및 도장)
Automated External Defibrillators(자동제세동기)
Avian Influenza(조류 인플루엔자)
Backovers(백오버)
Basic Steel Products(기본 철강 제품)
Battery Manufacturing(배터리 제조)
Benzene(벤젠)
Beryllium(베릴륨)
Biofuels(바이오 연료)
Biological Agents(생물학적 요소)
Bioterrorism(생물학적 테러)
Bloodborne Pathogens and Needlestick Prevention(혈액매개변수 및 주사기위험 예방)
Botulism(보툴리누스 중독)
Brownfields(브라운필드 (환경오염 지역 복원에 대한 법규))
Business Case for Safety and Health(안전과 건강을 위한 사업)
Butadiene, 1,3-(1,3-부타디엔)

Cadmium(카드뮴)
Carcinogens(발암물질)
Chemical Hazards and Toxic Substances(화학적 위험물질과 유독 물질)
Chemical Reactivity Hazards(화학반응 유해성)
Chromium(크롬)
Cleaning Industry(청소 산업)
Coal Tar Pitch Volatiles(콜타르피치 휘발물)
Cold (see Winter Weather)(추위 (겨울 날씨 참조))
Combustible Dust(인화성 분진)
Commercial Diving(잠수)
Communication Towers(통신 타워)
Competent Person(능력자)
Composites(복합재)
Compressed Gas and Equipment(압축 가스 및 장비)
Computer Workstations(컴퓨터 작업장)
Concrete and Concrete Products(콘크리트 및 콘크리트 제품)
Confined Spaces(밀폐 공간)
Confined Spaces in Construction(건설업 내 밀폐공간)
Construction Industry(건설업)
Construction Management Industry(건설 관리업)
Control of Hazardous Energy(Lockout/tag outout)(유해 에너지 차단 (잠금 및 표지))
Coronavirus Disease (COVID-19))
Cotton Dust(면 분진)
Crane, Derrick, and Hoist Safety(크레인, 데릭 및 호이스트 안전)
Cytomegalovirus(사이토크갈로바이러스)
Demolition(철거)
Dentistry(치과)
Dermal Exposure(피부 노출)
Diesel Exhaust(디젤 배출물질)
Direct-Reading Instruments(직독식 기기)
Dry Cleaning(드라이클리닝)
Earthquakes(지진)
Ebola(에볼라)

Extremely Low Frequency (ELF) Radiation(극저주파)
Electric Power Generation, Transmission, and Distribution Industry(발전, 전송 및
배전 산업)
Electrical(전기)
Electrical Contractors Industry(전기공사업)
Emergency Preparedness and Response(비상 대비와 대응)
Ergonomics(인간공학)
Ethylene Oxide(에틸렌 옥사이드)
Eye and Face Protection(눈과 얼굴 보호)
Fall Protection(낙하 방지)
Fiberglass (유리섬유)
Fire Safety(소방 안전)
First Aid (응급 처치)
Flavorings-Related Lung Disease(향료 관련 폐질환)
Flood Preparedness and Response(홍수 대비와 대응)
Foodborne Disease(식중독)
Formaldehyde(포름알데히드)
General Industry(일반 산업)
General Safety and Health References(일반 안전 및 보건 참조)
Geo-Thermal Energy(지열 에너지)
Grain Handling(곡물 관리)
Green Roofs(녹지 지붕)
Green Tobacco Sickness(흡담배 병)
Hair Salons: Facts about Formaldehyde in Hair Smoothing Products(미용실: 헤어
스무딩 제품에 포름알데히드에 관한 사실)
Hand and Power Tools(손 및 전동 공구)
Hantavirus(한타바이러스)
Hazard Communication(유해물질 통지)
Hazardous Drugs(유해 약물)
Hazardous and Toxic Substances(유해화학물질, 유독물)
Hazardous Waste(유해 폐기물)
Hazardous Waste Operations and Emergency Response(유해 폐기물 작업 및 비상
대응)

Healthcare(의료)
Heat(열)
Heat Illness Prevention Campaign(온열질환 예방 캠페인)
Hexavalent Chromium(6가크롬)
Highway Work Zones and Signs, Signals, and Barricades(도로 공사 구역과 표지판, 신호 및 바리케이드)
Home Healthcare(가정 건강 관리)
Hurricane Preparedness and Response(폭풍 대비와 대응)
Hydrogen Fuel Cells(수소 연료 전지)
Hydrogen Sulfide(황화 수소)
Incident Investigation(사고 조사)
Indoor Air Quality(실내 공기질)
Injury and Illness Recordkeeping and Reporting Requirements(상해와 질병 기록 및 보고 요구 사항)
Ionizing Radiation(이온화방사선)
Isocyanates(이소시아네이트)
Laboratories(실험실)
Landscape and Horticultural Services(조경 및 원예 서비스)
Laser Hazards(레이저 위험)
Laser/Electrosurgery Plume(레이저/전기수술 연기)
Latex Allergy(라텍스 알레르기)
Lead(납)
Legionellosis(레지오넬로증)
Logging(벌목)
Long Work Hours, Extended or Irregular Shifts, and Worker Fatigue(장시간근로, 연장 또는 불규칙한 교대 근무, 근로자 피로)
Lumber and Building Material Dealers Industry(목재 및 건축 자재 판매업)
Machine Guarding(머신가드)
Maritime Industry(해상 산업)
Measles(홍역)
Meatpacking(정육 가공)
Medical Access Order(의료 접근 명령)
Medical and First Aid(의료 및 응급 처치)

Medical Screening and Surveillance(건강 검진과 감시)
Mental Health (정신 건강)
Mercury(수은)
Metalworking Fluids(금속 가공유)
Methylene Chloride(메틸렌 클로라이드)
Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus(메르스)
Mold(곰팡이)
Motor Vehicle Safety(차량 안전)
Multiple Chemical Sensitivities(다중 화학 민감성)
Musculoskeletal Disorders (근골격 장애)
Nail Gun Safety(네일건 안전)
Nail Salons(네일샵)
Nanotechnology(나노기술)
Noise and Hearing Conservation(소음과 청력 보존)
Non-Ionizing Radiation(비이온화 방사선)
Novel Coronavirus(신종 코로나바이러스)
Nursing Homes and Personal Care Facilities(요양병원 및 개인간호 시설)
Occupational Asthma(직업성 천식)
Occupational Epidemiology(직업 역학)
Occupational Noise Exposure(직업적 소음노출)
Occupational Health Professionals(직업 안전보건 전문가)
Oil and Gas Extraction(석유 및 가스 추출)
Oil and Gas Well Drilling, Servicing and Storage(석유 및 가스 시추, 서비스 및 저장)
Oil Spills(석유 유출)
Pandemic Influenza(팬데믹 인플루엔자)
Personal Protective Equipment(개인 보호 장비)
Plague(페스트)
Plastics Industry(플라스틱 산업)
Poultry Processing(가금류 가공)
Powered Industrial Trucks(산업용 트럭)
Pressure Vessels(압력 용기)
Preventing Backovers(백오버 예방)
Printing Industry(인쇄업)

Process Safety Management(공정 안전 관리)
Pulp, Paper, and Paperboard Mills(펄프, 종이 및 판지 제조)
Pyrotechnics Industry(폭죽 산업)
Radiation(방사선)
Radiation Emergency Preparedness(방사선 비상 대응)
Radiological Dispersal Device(방사선 분산 장치)
Radiofrequency and Microwave Radiation(라디오주파수 및 마이크로파)
Recordkeeping(기록 관리)
Recycling(재활용)
Reproductive Hazards(생식기 위험)
Residential Construction Industry(주택 건설업)
Respirator Change Schedules(호흡보호구 교체 일정)
Respiratory Protection(호흡기 보호)
Restaurant Safety for Teen Workers(청소년 근로자를 위한 식당 안전)
Restrooms and Sanitation Requirements(화장실 및 위생 요구 사항)
Ricin(리신)
Robotics(로보틱스)
Safe + Sound Campaign(안전 캠페인)
Safety and Health Programs(안전보건 프로그램)
Sampling and Analysis(표본 추출과 분석)
Sawmills(제재소)
Scaffolding(비계)
Sealant, Waterproofing and Restoration Industry(실란트, 방수 및 수리산업)
Seasonal Flu(계절성 독감)
Semiconductors(반도체)
Shipbuilding and Ship Repair(조선 및 선박 수리)
Silica, Crystalline(결정형 실리카)
Small Business(소기업)
Smallpox(천연두)
Solar Energy(태양 에너지)
Solvents(용제)
Spray Operations(스프레이 작업)
Steel Erection(강철 건축)

Styrene(스티렌)
Surface Contamination(표면 오염)
Synthetic Mineral Fibers(합성 광물 섬유)
Textiles(직물)
Toluene(톨루엔)
Tornado Preparedness and Response(토네이도 대비와 대응)
Toxic Metals(유독성 금속물질)
Tree Care Industry(나무 관리 산업)
Trenching and Excavation(굴착 및 발굴)
Trucking Industry(트럭 산업)
Tuberculosis(결핵)
Tularemia(툴라레미아)
Valley Fever (계곡열)
Ventilation(환기)
Viral Hemorrhagic Fevers(바이러스성 혈우병)
Warehousing(창고)
Waste Anesthetic Gases(폐기 마취가스)
Waste Management and Recycling(폐기물 관리 및 재활용)
Weather Insulating/Sealing
Welding, Cutting, and Brazing(용접, 절단 및 납땜)
Wildfires(산불)
Wind Energy(풍력 에너지)
Winter Weather(겨울 날씨)
Women in Construction(건설업 여성 근로자)
Wood Dust(목분진)
Wood Products(나무 제품)
Woodworking(목공)
Worker Fatigue(근로자 피로)
Workplace Stress(직장 스트레스)
Workplace Violence(직장 내 폭력)
Young Workers(청소년 근로자)
Zika Virus(지카 바이러스)

2. 국제심포지엄 발표자별 내용 요약

Wednesday 25 October 2023

18:30–20:00 Appreciation Dinner for Invited Overseas Guest Speakers
(Corner Bay, 14F, Hotel)

Thursday 26 October 2023 Program Moderator: Dong-Uk Park, Ph.D., CIH
(Korea National Open University, Korea)

09:00–09:20 Registration

09:20–09:30 Welcome and Introduction

09:30–10:00 Ongoing Studies on Occupational Health in the Electronic Industry of Korea
Moderator: Chungsik Yoon, Ph.D., CIH (Seoul National University, Korea)

09:30–10:00 Development of Occupational Safety and Health (OSH) Guide for High-Risk Maintenance Works (MW) in the Electronics Industry
Dong-Uk Park, Ph.D., CIH (Korea National Open University, Korea)

10:00–10:30 Survey Plan on Safety and Health Status in the Semiconductor & Display Industry
Kwonchul Ha, Ph.D., CIH (Changwon National University, Korea)

10:30–10:50 Coffee break

10:50–12:20 Insights and Case Studies: Managing OH Risks in the Electronics Industry
Moderator: Perng-Jy Tsai, Ph.D. (National Cheng Kung University, Taiwan)

10:50–11:20 TSMC Health Management Introduction of Promoting Worker's Health and Preventing Work-related Diseases
Hsun-Hui Yeh (TSMC, Taiwan)

11:20–11:50 Current OSH Status at The Mitsubishi Electric Corporation Power Device Works, Kumamoto, Japan
Isoda Hideka, M.D., Ph.D. (Mitsubishi Electric, Japan)

11:50–12:20 The Establishment and Use of Job Exposure Matrix (JEM)

	in SK hynix Semiconductor Company Jiae Lee, Ph.D. (SK Hynix, Korea)
12:20-14:00	Lunch
14:00-16:00	Insights and Case Studies: Managing OH Risks in the Electronics Industry Moderator: Doo Yong Park, Ph.D., CIH (Hansung University, Korea)
14:00-14:30	Management and current status of Occupational Safety and Health in Japan semiconductor industry Hirohiko Nakahara (NAOSH Consulting Office, Japan)
14:30-15:00	Introduction of Health Management Support System for Semiconductor Subcontracting Workplaces Hyunchul Ryou, M.D. (Center for Working Environment Health Foundation, Korea)
15:00-15:30	Initial Data on OSH Profile in Indonesian Electronic Sectors Mila Tejamaya (University of Indonesia, Indonesia)
15:30-16:00	Ergonomics Assessment as OSH Risk Mitigation and Production Cost Avoidance Daryl Sng Jingjie (Micron Confidential, Singapore)
16:00-16:30	Coffee break
16:30-18:00	Approaches for Compensation and Evaluation in Examining the Causes of Occupational Diseases Moderator: Dongju Oh, Ph.D. (Samsung Electronic, Korea)
16:30-17:00	The Impact of Work Pressure on Worker Lifestyle in the Electronic Component Manufacturing Sector Jiune-Jye Ho, Ph.D. (Center for Occupational Accident Prevention and Rehabilitation (COAPRE), Taiwan)
17:00-17:30	How Occupational Diseases are Screened; Types of Occupational Health Systems in Semiconductor-related and Electronics Industry Workplaces in Japan Toyohi ISSE, M.D., Ph.D. (School of Medicine, University of Occupational and Environmental Health, Japan)

17:30–18:00	A New Approach for Compensating Workers' Illnesses in the Electronic Industry Doo Yong Park, Ph.D., CIH (Hansung University, Korea)
18:00–21:00	Welcome Dinner for the Symposium Attendees (Harbor Bay, 15F, Hotel)
Friday 27 October 2023 Program Moderator: Kwonchul Ha, Ph.D., CIH (Changwon National University, Korea)	
10:00–12:20	Chemical-Related Occupational Health Concerns in the Electronics Industry Moderator: Kyong Hee Lee, Ph.D., CIH (USFK, Korea)
10:00–10:30	Analysis of Case Reports of Occupational Accidents related to Chemicals in the Electronics Industry Naroo Lee, Ph.D. (Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA, Korea)
10:30–11:00	Exposure to Volatile Organic Compounds and Potential Health Risks in the Electronics Industry: Case Studies in Taiwan Ta-Yuan Chang, Ph.D. (China Medical University, Taiwan)
11:00–11:20	Coffee break
11:20–11:50	Chemical use in Electronics Industry–Known and Unknown Chungsik Yoon, Ph.D., CIH (Seoul National University, Korea)
11:50–12:20	Characteristics of Worker's Compensation Cases in Semiconductor and Display Manufacturing Industries in Korea Dong-Hee Koh, M.D., Ph.D. (International St. Mary's Hospital, Catholic Kwandong University, Korea)
14:00–17:00	In-depth Study on Occupational Exposure and Health Concerns in the Electronics Industry Moderator: Hyoung-Ryoul Kim, Ph.D., M.D. (The Catholic University College of Medicine, Korea)
14:00–14:30	Long-term Multiple Chemical Exposure Assessment for a Thin Film Transistor Liquid Crystal Display (TFT-LCD)

	Industry Perng-Jy Tsai, Ph.D. (National Cheng Kung University, Taiwan)
14:30-15:00	Occupational Cancer Mortality and Incidence of Semiconductor Workers: Experience from Korea Eun-A Kim, M.D., Ph.D. (Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA, Korea)
15:00-15:30	Coffee break
15:30-16:00	Semiconductor & Display Industry: An Explorative Health Outcome Analysis Jinha Yoon, M.D., Ph.D. (Yonsei University College of Medicine, Korea)
16:00-16:30	Characteristics of Peak Exposure of Semiconductor Workers to Extremely Low-frequency Magnetic Fields Dong-Uk Park, Ph.D., CIH (Korea National Open University, Korea)
17:00-20:00	Networking Dinner for Invited person: Nurturing Future Collaborations in the Asian Electronics Industry

제목	Development of Occupational Safety and Health (OSH) Guide for High-Risk Maintenance Works (MW) in the Electronics Industry: 전자산업 정비작업자 안전보건가이드 개발		
발표자	Donguk Park(박동욱)	전자메일 주소	
소속 : Korea National Open University			
○ 배경 • 반도체 산업/전자산업 정비 작업자 안전보건 위험 보호 필요 • 자동화된 반도체 제조 환경에서 유지보수 작업자는 운전자보다 더 많은 위험에 노출 : 대부분 사내 혹은 사외에 하청 ○ 목적 • 반도체 산업/전자산업 정비 작업자 안전보건 가이드 개발 ○ 주요 결과 • 총 6종 안전보건가이드 개발함 1) 전자 운영 시설의 일반 MW; 다양한 팹의 MW와 같은 공정 시설 2) 증착공정 설비 정비작업 3) 식각공정 설비 정비작업 4) 이온 주입공정 설비 정비작업 5) 전자 공정에 사용되는 기계 부품 청소, 세척(cleaning) 작업 6) 연마 블라스팅 작업 ○ 결론 • 총 6종 안전보건가이드 개발함. 적극적인 활용 방안 강구 필요 ○ 활용쟁점 • 전자산업에서 암 등 각종 위험 예방하기 위한 가이드 개발과 활용 방안 제시 핵심 용어(5개 이내): 정비작업, 안전보건가이드, 세정, 블라스팅, 이온주입, 식각, 증착			

제목	Survey plan on Safety and Health Status in the Semiconductor and Display Industry (전자산업 실태조사 계획)		
발표자	Kwonchul Ha(하권철)	전자메일 주소	
소속 : 창원대학교			
○ 배경 • 급격한 공정 변화가 많은 전자산업 특성 상 신규 화학물질을 포함한 복합적인 유해요인에 의해 직업성 암, 화학물질 중독 등이 지속적으로 발생하고 있어 재해 예방 방안을 구축할 필요가 있음. • 미래 환경변화와 새로운 산업안전보건 이슈에 대응하기 위한 산업안전보건 정책과 제도를 발굴하고 체계화하는 중장기 전략 및 로드맵 수립이 필요함. ○ 목적 • 1,000개 사업장 대상 설문조사 및 20개 사업장에 대한 현장 FGI 등을 통해서 전자산업의 구조적 문제 등 안전보건실태를 파악하고, 이를 기반으로 전자산업보건센터의 중장기 전략 및 로드맵을 수립함. ○ 주요 결과 • 제품·공정 혁신 주기가 여타 제조업에 비해 확연히 짧은 편이어서 자본(설비)의 진부화·노후화가 상대적으로 단기간에 반복적으로 전개되며, 노동집약적·저부가가치제품·공정을 지속적으로 기업 외부로 이전하여 대자본이 제조(생산)에 집중되어 있음. • 관리자 대상 설문조사 결과 원청사들은 일반적으로 안전보건 관련 활동에 비교적 더 적극적인 경향(66.7%)이 있음을 확인할 수 있었음. 하도급을 주기도 하고 받기도 하는 복합 사업장은 두 가지 관점에서 안전과 화학물질 사용에 대한 책임을 갖게 되는데, 상기 사업장들은 안전보건 활동의 중요성을 인식하면서도 다양한 방면에서 강정과 약점을 모두 나타내었음. • 하청사는 원청사로부터의 요구와 지시에 따라 활동을 수행하여 안전보건 활동의 비율이 다소 낮은 경향(40.8%)을 보이는데, 이는 원청사와의 계약 관계와 경제적 압박 등 다양한 요인에 기인할 수 있음. • 위험성평가 시 근로자의 참여가, 원청에서는 '매우 그렇다'로 응답한 비율이 33.3%, 하청에서는 이 비율이 13.4%로, 원청에 비해 19.9% 포인트 낮게 나타나 하청에서의 열악성이 악순환될 수 있다는 것을 시사해 줌. • 업무상질병 인정 사례는 안전보건공단 등을 통해 확보한 산업재해보상보험에서 인정된 사례를 이용하며, 건강수준은 질병과 사고로 구분함. 전자산업과 타산업을 비교함. ○ 결론 • 우리나라 전자산업이 가치사슬 속에서 지속적으로 발전할 수 있도록 안전보건 시스템을 개선할 수 있는 방안을 제시하여 국가(산업) 경쟁력을 강화할 수 있도록 함. • 전자산업의 복잡한 원하청 구조 등에 의해서 안전보건 문제가 발생하고 있으며, 가치사슬을 활용한 개선 방안이 중점적으로 논의되어야 함. ○ 활용쟁점 • 원하청 정비작업에 대한 안전보건 증진 방안을 집중적으로 수행할 수 있는 구체적인 안전보건가이드라인 개발이 필요할 것임. 핵심 용어(5개 이내): 전자산업, 전자산업보건센터, 반도체, 디스플레이 안전보건			

제목	TSMC Health Management Introduction of Promoting Worker's Health and Preventing Work-related Diseases (TSMC 근로자 건강증진 및 업무관련 질병 예방 소개)		
발표자	Hsun-Hui Yeh	전자메일 주소	
소속 : TSMC, Taiwan			
○ 배경 - TSMC는 1987년 IC 파운드리 비즈니스 모델을 발굴함. - TSMC는 근로자의 안전과 건강을 보호하고 증진하기 위해 안전 문화 증진, 포괄적인 건강관리, 대내외적 동맹 전략을 준수하여 산업 안전 보건 관리 시스템을 구축하고자 함. ○ 목적 - 세계 수준의 산업 안전 보건 관리 시스템을 구축하여 근로자의 건강을 보호하고 증진하고 인재를 유지하기 위함. ○ 주요 결과 - TSMC는 ISO 45001 및 책임 기업 동맹 표준의 요구 사항을 충족했을 뿐만 아니라 목표의 달성을 평가하기 위한 성과 지수를 달성함. - 안전 문화 증진에는 직원 1,000명당 사고율, 부상 빈도 비활성화, 심각도 비활성화 등 3가지 안전 지수가 있음. 2022년 목표 (해당 연도 사고율 0.05%)를 달성했음에도 불구하고 지속적으로 개선해야 하는 운영 중 주의를 기울이지 않은 것이 직업 부상의 주요 원인으로 지적됨. - 종합 건강 관리에는 화학 물질 노출로 인한 직업 장애 0건, 혈중 지질, 혈압, 혈당 이상 직원, 스트레스 수치가 보고된 직원 등 3가지 건강 지수가 있음. 3가지 건강 지수 또한 다양한 건강 위험 관리 및 건강 증진 프로그램을 통해 2022년에 모두 달성함. (혈중 지질 농도 11% 이하, 혈압 13.5% 이하, 혈당 2.5% 이하) - 새 측정 규칙에는 개인보호구의 화학물질 보호율, 학교와 연계하여 작업 현장 모니터링 프로그램 신설, 침을 부수는 공정에서의 모니터링 강화, 암 스크리닝 등을 수행함. ○ 결론 - 향후 TSMC는 글로벌 풋프린트, 국제 기업 및 기관과의 벤치마크, 건강 KPI 재검토, AI 응용을 통한 건강 위험 관리 시스템 등 새로운 도전에 직면함. ○ 활용쟁점 - TSMC 등의 전자산업 대기업에 존재하는 안전보건 수칙 중 우리나라 반도체 등 전자산업 대기업에 적용할 수 있는 안전방안 및 보건대책이 있는지, 또한, 적용할 수 없다면 그 대안은 어떠한 것이 있는지?			
핵심 용어(5개 이내): 산업안전보건, 직업성 질병 예방			

제목	Current OSH Status at The Mitsubishi Electric Corporation Power Device Works, Kumamoto, Japan (일본 Mitsubishi 전자회사의 OSH현황)		
발표자	Isoda Hideka	전자메일 주소	
소속 : Mitsubishi Electric Inc., Japan			
○ 배경 - 반도체 공장은 24 시간 가동하는 곳이 많고, 생산부서의 많은 직원들이 야간 근무를 포함하여 교대로 근무하고 있어 행정부서의 주간 근무 직원들에 비해 병가나 건강상의 문제를 호소하기 쉬움. ○ 목적 2010년부터 2022년까지 13년간 30일 이상 연속으로 병가를 낸 직원들을 생산부서, 행정부서, 질병의 종류, 연령, 성별로 구분하여 J-ECHO (Japan-Epidemiology Collaboration on Occupational Health study)에서 연구한 일본 기업의 자료와 비교함. - 암에 대한 우리나라 반도체 기업의 자료와도 비교를 진행함. ○ 주요 결과 - 남자 직원들의 병가율은 J-ECHO의 자료와 거의 같았지만, 여자 직원들의 병가율은 2배 정도 더 높았음. - 남자 직원의 병가 발생의 주요 원인은 정신 질환, 근골격계 질환, 상해 질환이었으며, 여자 직원들의 경우 정신 질환, 상해 질환 등으로 확인됨. - 같은 반도체 기업이라도 우리나라 기업 (30대에서 40 건으로 전체 50%이며 최대수치)과 우리 회사 (Mitsubishi)의 악성 종양의 종류와 연령 별로 차이를 보임. (지난 13년간 우리 회사 (Mitsubishi)의 화학물질 등 작업 환경과 관련될 가능성이 있는 암, 백혈병, 희귀암과 같은 사례는 없었음) - 교대로 근무하는 생산직 직원들의 유방암 발생률은 주간 근무 행정부서보다 훨씬 더 많은 것으로 확인됨. (이는 교대 근무가 유방암의 위험을 높인다는 많은 보고와 일치, 본 연구에서는 전체 생산직or행정직 건수/유방암 건수 로 계산됨, 생산직 92.9%, 행정직 7.1%) ○ 결론 - 화학물질 관리와 근로자의 배치는 건강상의 이슈로 이어질 수 있으니 관리해야 함. - 연간 건강 체크, 암 모니터링, 그리고 작업환경측정은 매우 중요함. 그리고 개인적으로 시스템보다 근로자의 건강을 먼저 고려하는 것이 불필요한 결과를 초래하는 것을 줄일 수 있는 방안이라고 생각함. ○ 활용쟁점 - 여러 연구를 통해서 화학물질의 관리와 순환근무에 대한 문제점이 밝혀지고 있는 만큼 이에 대한 안전보건 가이드 개발을 진행해야 함.			
핵심 용어(5개 이내): 발병률, 병가, 암, 생산부서, 행정부서			

제목	The Establishment and Use of Job Exposure Matrix (JEM) in SK hynix Semiconductor Company: SK하이닉스 직무노출 매트릭스 구축		
발표자	Jiae Lee	전자메일 주소	
소속 : SK Hynix			
○ 배경 • 안전하고 건강한 일터를 만들기 위함 • 2014년에 산업보건 검증 위원회가 회사의 전반적인 산업보건 관리 수준을 진단하고 또 구축을 권고함 • SK하이닉스는 위원회의 제안을 적극 수용하여 JEM구축 ○ 목적 • 작업자의 직무별 노출 이력을 관리하는 시스템으로 JEM 구축: 직무노출을 전산으로 감시하고 평가함 ○ 주요 결과 • 근로자의 과거 부서별 노출 정보 등 보다 세밀한 과거 이력 관리 가능 • 단위 공정별 정기적 변경 사항/화학물질/작업이력/작업환경측정/건강검진/코호트 등 을 개인 근로자별로 연계하여 구축함 • 직무노출과 관련되는 정보를 정확하게 수집하고 업데이트하게 됨 • 현장 관리자의 안전보건위험 관리 부담을 줄이는 계기가 됨 ○ 결론 • 근로자의 직무 노출로 인한 위험 감시/위험을 관리하는 전문가의 효율적인 활동을 위해 JEM알고리즘/IT 시스템 개선을 지속적 개선 필요 ○ 활용쟁점 • 복잡한 정비 작업 이력 등을 JEM으로 감시하는 전략 • 정비작업자 JEM에 안전보건가이드 주요 내용 통합 필요 핵심 용어(5개 이내): JEM, 직무노출메트릭스, Job, 정비작업			

제목	Management and current status of Occupational Safety and Health in Japan semiconductor industry(일본 반도체 산업의 산업안전보건 관리 및 현황)		
발표자	Hirohiko Nakahara	전자메일 주소	
소속 : NAOSH Consulting Office, Japan			
○ 배경 - 일본 반도체 산업에서의 산업재해, 질병 발생 건수는 1975년부터 1980년까지 251건의 사고가 보고되었음. - 일본에서는 클린룸 운영/관리/오염 제거 핸드북(1993), 클린룸 운영의 유지보수 및 청소 표준(2005), 클린룸 운영의 유지보수 및 청소(2008) 와 같은 기준이 만들어짐. ○ 목적 - 일본 반도체 장비 협회(SEAJ, Semiconductor Equipment Association of Japan)의 주요 안전보건 활동을 설명하고자 함. ○ 주요 결과 - 일본 정부는 1988년 전자산업 가이드라인을 만들, 해당 내용으로는 환기, 가스 감지기와 같은 공정 설비에 관한 내용, 산성 및 독성 물질 등 물질 관리에 관한 내용, 장비 유지에 관한 내용, 폐기물 관리에 관한 내용, 개인 보호구에 관한 내용을 포함. - 일본 반도체 장비 협회의 안전 위원회는 위험 시나리오 시각화, 심각한 사고에 대한 과학적 분석, 사고의 데이터 베이스화, 교육과 같은 업무를 통해 지원함. - 업무와 위험 시나리오 분류를 통해 위험성 및 안전 조치에 대해 명확히 설명함. 예를 들어 일상적인 업무에서 발생할 수 있는 위험 시나리오와 조치에 대해서 분류함. - 심각한 사고에 대해 Variation Tree Analysis, M-SHEL(Management, Software, Hardware, Environment, Liveware)을 통해 과학적 분석하여 협회 내 30개 회사에 공유함. - DVDs, 책, 카드를 통해 안전 교육 진행함, 카드에는 어떤 사고가 발생했는지, 왜 발생했는지, 어떻게 예방할 수 있는지에 대한 정보가 담김. ○ 결론 - 일본 반도체 장비 협회 멤버들의 최근 10년(2012' ~ 2022') 간 작업 시간 10,000,000시간 당 손실 일수는 전체 산업 및 제조업에 비해 낮은 수치를 보임. - 일본 반도체 장비 협회 멤버의 최근 10년(2012'~2022') 간 작업 시간 200,000시간 당 사고 발생 건수는 0.1 ~ 0.2로 제조업에 비해 낮은 수치를 보임. ○ 활용쟁점 - 일본 반도체 장비 협회처럼 국내 기업들이 자체적인 보건안전 관리 방안을 어떻게 도입할 것인가 고민필요 : 대안으로 안전보건 가이드 개발 핵심 용어(5개 이내): 재해율, 교육			

제목	Introduction of OHS support system for semiconductor subcontracting workplace(반도체산업 협력업체를 위한 안전보건지원 체계 소개)		
발표자	Hyunchul Ryou (류현철)	전자메일 주소	
소속 : 재단법인 일환경건강센터			
○ 배경 - 반도체 산업 협력업체의 경우에도 소규모 사업장은 영세성, 지지자원의 부족, 콘텐츠의 부족 등으로 인해 안전보건 상의 어려움에 처해 있으며 이에 다양한 경로의 안전보건 지원 체계 구축이 필요함. ○ 목적 - 반도체 초점 대기업의 기부를 기반으로 민간영역에서는 국내 최초로 반도체 산업 협력업체와 안전보건 사각지대 노동자들을 대상으로 직업건강 서비스를 제공하는 조직으로서 일환경건강센터의 사례와 모색에 대해서 소개하고자 함. ○ 주요 결과 - 일환경건강센터는 SK하이닉스의 재정지원에 기반하여 2019년 설립되어 2023년 비영리공익재단으로 독립하였음. - 직접적인 OHS서비스 제공기관으로서 지역에 기반한 '포괄적'이며 '지속적'이며 '근거중심' 직업건강 서비스를 '일하는 사람 모두'를 대상(주대상은 지역 내 중소기업 사업장, 기존 안전보건관리체계에서 소외된 노동자들, SK 하이닉스 협력업체)으로 제공하고 있음. 사업장 기반 서비스와 개별 노동자 대상 서비스를 각각 개발하여 유연하고 통합적으로 운영하는 것을 목표로 함. - 간접 지원 조직으로서 지역 안전보건 서비스 네트워크 구성, 기존 공공영역과 민간영역의 직업건강관리 서비스에서 발생하는 미충족 수요 분석 및 해결 방안 제안, 지자체·지역 의회·공공기관 정책 수립에 있어서 직업건강 관점 도입 지원 등을 목표로 함. - 직업환경의학전문, 산업간호사, 산업위생관리기사, 물리치료사(인간공학전문가), 심리상담사, 교육 및 행정 지원인력 등의 협업으로 위험성 평가(안전보건환경 컨설팅)에 기반하여, 사업장에 필요한 직업건강 증진 서비스, 노동인권 컨설팅 연계, 작업환경 개선에 대한 기술적 재정적 지원까지 포괄적인 안전보건 지원 서비스를 제공하고자 하고 있음. - 일환경건강센터의 안전보건컨설팅, 직업건강증진 프로그램, 작업환경개선의 구체적 사례에 대해서 소개함. ○ 결론 - 원청기업의 재정적 기여에 기반한 원하청 상생협력 직업건강서비스 지원 조직의 설립 사례는 의미 있음. - 작업환경개선에 대한 기술적 재정적 지원을 포괄하는 직업건강 서비스의 제공은 협력업체의 안전보건 수준 향상을 위한 주요한 방식으로 작동할 수 있을 것임. - 예외적이고 집중적인 투자를 해서 몇 개의 우수 사례를 만드는 것이 아니라 소규모 사업장 일반에 대한 일상적인 성공 가능성을 검토하는 것이 중요함. ○ 활용쟁점 - 하청 기업 안전보건 개선 성공 사례의 확산 전략과 연계, 지속가능성에 대해 지속적인 모색이 필요함. 핵심 용어(5개 이내): 원하청상생협력, 직업건강증진, 작업환경개선지원, 일환경건강센터			

제목	Initial Data on OSH Profile in Indonesian Electronic Sectors (인도네시아 전자분야의 OEH 초기자료)		
발표자	Mila Tejamaya	전자메일 주소	
소속 : University of Indonesia, Indonesia			
○ 배경 • 인도네시아의 전자 부문으로 최근 가장 빠르게 성장하는 산업 분야임 • 2022년 기준 인도네시아 국가 GDP에 6.71% 기여 예상됨 ○ 목적 • 인도네시아 전자제품 부문의 산업안전보건 지원 및 이행에 관한 초기 데이터를 확보 주요 데이터 수집 방법: 문헌검토, 인터뷰(2023년 8~10월) ○ 주요 결과 • OSH regulation - Law No.1(1970), 13(2003), 21(2003), 40(2004), 24(2011), 3(2014), 11(2020) - Government regulation No.31(2006) - Presidential regulation No.8(2012), 41(2015), 95(2020) - Regulation of the minister of manpower No.21(2014), 199(2021) Institution that support OSH implementation in Indonesia - Minister of manpower - Minister of health - Minister of Industry - A number of electronics industry associations (eg. GABEL, AILKI, APPI, ...) • Standards - SKKNI No.91 (2021) • OSH related incidents and illness - Human factors - Method factors - Machinery and Equipment factors - Environmental factors • OSH studies in Indonesian electronic industries - Larger companies: better at implementing occupational health and safety management systems - SMEs: need to improve OSH awareness - Some hazardous tasks are subcontracted to SMEs ○ 결론 • Multinational companies strive to be role models for OSH in Indonesia's electronics industry: Comply with national standards & international standards 핵심 용어(5개 이내): Indonesia, Electronic industry, regulation, Institution, standard			

제목	Ergonomics assessment as OSH risk mitigation and production cost avoidance (OEH 위험 감소 및 생산비용 감축 측면에서의 인체공학적 평가)		
발표자	Daryl Sng Jingjie	전자메일 주소	
소속 : Micron Confidential, Singapore			
○ 배경 - 반도체 업계는 주로 수작업으로 작업이 이루어짐. 따라서 반도체 업계에서 허리 통증은 열악한 작업 환경에서 자주 일어나는 업무상 근골격계 질환(Work-related musculoskeletal disorder, WRMSD)임. ○ 목적 - 반도체 산업에서 WRMSD를 줄이는 동시에 생산 능력을 높이고 비용 절감을 달성하는 것. ○ 주요 결과 2021년 6월부터 2022년 5월까지, Dropbox에서 189건의 허리 관련 문제가 기록되었으며, 병가로 인해 1267일의 근무일수 손실이 있었음. 허리 관련 질환은 직원들이 자신의 신체 구조와 생체 역학적으로 호환되지 않는 작업환경에서 근무하는 것이 원인. - 작업자가 안전하고 인체공학적으로 장비의 하부 원시 장치에 접근할 수 있는 새로운 작업 보조구를 설계, 프로토타입을 제작함으로써 산업재해 위험을 증가시키지 않으면서도 생산능력을 향상시킬 수 있는 개선 방안을 발견함. ○ 결론 - 각 작업자별 치수를 측정, 작업보조구를 제작하여 생체역학적 호환성 및 인간공학 평가를 통한 테스트 장비를 제작하였음. - 작업 수행 시 인체공학 및 안전 위험을 ALARP(As Low As Reasonably Practicable)로 줄이는 동시에 생산 능력을 높이고 비용 절감을 달성할 수 있음. ○ 활용쟁점 - 작업자를 보호하고 생산능력을 향상시킬 수 있는 작업보조구를 어떻게 반도체 산업 작업자들에게 적용할 수 있을 것인가. : 근골격계질환 안전보건 가이드 개발 활용 핵심 용어(5개 이내): 인간공학, WRMSD, 작업보조구			

제목	The impact of work pressure on worker lifestyle in the electronic component manufacturing sector (전자 부품 제조업에서의 업무 압박이 노동자의 생활양식에 미치는 영향)		
발표자	Jiune-Jye Ho	전자메일 주소	
소속 : Center for occupational accident prevention and rehabilitation (COAPRE), Tawiwan			
○ 배경 • 높은 업무 압박은 노동자들의 자가면역 질환, 정신 질환, 신경 질환과 같은 다양한 만성 증상을 일으킬 수 있음. ○ 목적 • 전자 부품 제조업에서 일하는 노동자들의 건강 상태와 직업적 스트레스 사이의 관계 조사함. ○ 주요 결과 • 직업적 스트레스 및 과로 점수를 테스트한 후, 대만의 3개 기업에서 94명의 높은 작업 스트레스 그룹 및 30명의 낮은 작업 스트레스 그룹을 모집하여 연구함. • 8-OHdG 농도는 높은 그룹에서 낮은 그룹보다 상당히 높았음. • 요소질소는 직업적 스트레스와 관련이 있을 것으로 판단. • 요소질산에서 바닐만델산 (VMA)과 페닐아세틱산 (PAA)은 높은 그룹과 피로와 관련이 있을 것으로 나타났으나, 더 많은 데이터가 필요함. • 높은 스트레스 그룹에 대부분은 클린룸에서 일하는 나이가 어린 노동자들이었으며, 낮은 스트레스 그룹은 행정 업무를 수행하고 평균 연령이 높았음. ○ 결론 • 높은 작업 스트레스 그룹은 노동자들의 건강에 부정적인 영향을 미칠 수 있으며, 그 영향은 특히 제조 공정 노동자들에게 크게 나타남. • 개인의 건강한 식사 및 건강한 생활 습관을 통해 직업적 스트레스와 피로를 완화할 수 있을 것으로 보임. ○ 활용쟁점 • 해당 문제는 우리나라 기업에도 해당되는 사항인 만큼 스트레스를 받는 그룹을 조사하고 그 그룹에 대하여 취할 수 있는 조치로 무엇이 있는지? 순환근무 등을 통해 임시적으로 줄이는 방안이 있어도 문제 원인에 대하여 취할 수 있는 조치로는 무엇이 있는지? • 스트레스 노출저감을 위한 안전보건 가이드 개발 핵심 용어(5개 이내): 전자 부품 제조 산업, 작업 압박, 작업 스트레스, 소변 유기산, 8-OHdG			

제목	How Occupational Diseases are Screened; Types of Occupational Health Systems in Semiconductor-related and Electronics Industry Workplaces in Japan(일본의 반도체 및 전자산업에서의 직업병 스크리닝 방법 및 직업 건강 시스템 소개)		
발표자	Toyohi ISSE	전자메일 주소	
소속 : School of Medicine, University of Occupational and Environmental Health, Japan(일본 직업환경보건대학교 의과대학)			
○ 배경 - 일본의 산업 안전 및 보건 규정에 따르면, 특정 근로자 수 이상이 근무하는 곳에서 산업보건의를 지명해야 함. 2023년 4월부터는 화학물질로 인한 암 등의 질병 감지 및 보고 강화를 위한 법 제정됨. ○ 목적 - 일본의 직업병 예방을 위한 스크리닝 방법과 직업 건강 시스템을 소개. ○ 주요결과 및 결론 - 일본의 직업병 통계에 따르면, 화학물질로 인한 암 발생은 매우 드물며, 주로 석면에 의한 중피종이 주요 원인임. - 직업병 예방을 위한 법적 과정이 있음. - 각 조직마다 산업보건의, 보건 간호사, 위생사 등 고용 현황은 다르고 다양함. - 보건안전위원회 외에도 질병 및 화학물질 처리 정보를 확인하는 담당 부서가 있음. ○ 활용 쟁점 - 직업병 예방을 위한 보건 가이드 개발 필요			
핵심 용어(5개 이내): 화학물질로 인한 암, 스크리닝, 산업보건의, 건강위원회			

제목	A New Approach for Compensating Workers' Illnesses in the Electronic Industry: 전자산업에서 근로자 질병 보상 새로운 접근/시도		
발표자	Doo Yong Park(박두용)	전자메일 주소	
소속 : 한성대학교			
○ 배경 - 부상/질병과 작업장 위험 사이의 인과관계가 모두 명확한 것은 아님: 논란/거래 비용증가 - 산재보상의 실질적 근거: “근무 시간 중” 및 “작업장 내에서” 발생('during the working time' and 'in the workplace': (called T-P principle) - 대부분의 직업병(OD)에 대한 보상에 적합하지 않음:특히 희귀 질환/암/외상후 스트레스/과로사 등 ○ 목적 - 질병과 노출과의 인과관계 규명 본질적인 한계가 있는 백혈병/희귀질환 등: 불확실성을 인정하고 개별적으로 인과관계를 찾는 대신 점수화 시스템을 개발하여 기업에서 보상함 ○ 주요 결과 - 질병의 중증도, 직무이력 등을 종합적으로 점수화하는 시스템을 개발 - 잠재적 질병 및 업무 기여 요인을 점수화함: 근로자 인구학적 특성(나이 등)/근무이력/장소/질병 유형 및 중증도 등 점수화함 ○ 결론 - 기업내 질병 보상위원회 운영 사례 ○ 활용쟁점 - 원청과 사내 정비 작업 위험 요소 반영: 직무와 질병의 점수화에 반영 - 사회 정비작업자 보상 대상 포함 여부 핵심 용어(5개 이내): 인과관계, 질병 보상			

제목	Analysis of Case Reports of Occupational Accidents related to Chemicals in the Electronics Industry (전자산업의 화학물질 관련 업무상 재해사례 분석)		
발표자	Naroo Lee	전자메일 주소	
소속 : Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA, Korea			
○ 배경 - 전자산업에서는 많은 화학물질을 사용함. 하지만 화학물질은 인간에게 다양한 방식으로 영향을 미치기 때문에 화학물질이 인간에게 어떤 영향을 미쳤는지 알기가 어려움. - 화학물질과 관련된 산업재해 case report에 대해 논의함. ○ 목적 3개의 화학물질에 대한 GHS 유해성 분류를 산업안전보건법에서 요구하는 화학물질 관리조치와 비교함. - 작업장 내 화학물질 관리 측면에서 화학물질 중독사고에서 부족한 점을 분석함. - 산업안전보건법 규정 준수를 넘어 화학물질 위험성 평가를 통한 화학물질 관리 방안을 제안. ○ 주요 결과 - 클리닝 용제로 사용되는 할로겐화 용제에 대해서 정부에서 잘못된 관점에서의 접근, 시장에서는 새로운 혼합 용제로 규제를 피해감. - 싸고 빠르게 작업하기 위해 클리닝을 하청을 주는 경우, 사업장 공기질 모니터링 결과가 왜곡이 되는 경우가 발생함. ○ 결론 - 유해성 정보를 철저하게 완성해서 파악하고, 모든 업무에 특이 사항, 급성 노출 등 여러 상황을 가정한 노출평가를 실시하여야 하고, GHS의 유해성과 노출 평가를 통해 위험성을 결정해야하고, P 코드를 기반으로 계층제어를 해야 함. - 산업안전보건법 규정 준수를 넘어 화학물질 위험성 평가를 통한 화학물질 관리 방안을 제안함. ○ 활용쟁점 - 화학물질에 대한 노출을 철저하게 관리하기 위해서, 여러 상황(short term, irregular)등을 가정한 노출 평가들이 업무 현장들 각각의 특성을 적용할 수 있는 방안이 필요함. - 시장에서 규제를 피하기 위해 생산되는 새로운 혼합 용제들에 대한 대응 방안이 필요함. 핵심 용어(5개 이내): 화학물질 관리, 클리닝, 피부 노출, 화상, 용제, GHS			

제목	Exposure to volatile organic compounds and potential health risks in the electronics industry: Case studies in Taiwan (휘발성 유기화합물 노출과 전자산업의 잠재적 건강위험요인: 대만의 사례연구)		
발표자	Ta-Yuan Chang	전자메일 주소	
소속 : Department of Occupational Safety and Health China Medical University, Taichung, Taiwan			
○ 배경 - 전자산업의 제조 공정에는 많은 유기 용매가 사용됨. 이 업계에서는 첨단 기술과 상업적 기밀 유지의 특성 때문에 VOC노출과 근로자의 잠재적인 건강 위험 사이의 연관성을 조사하기 위한 연구는 거의 수행되지 않았음. ○ 목적 - 전자산업에 종사하는 대만 근로자들을 대상 (case study)으로 암,생식,신장 기능 장애, 고혈압 등이 건강에 미치는 악영향을 평가하기 위한 VOC의 정성적, 정량적 노출평가를 제시함. - 이러한 사례 연구는 잠재적인 건강 위험을 예방하기 위해 다른 국가에서 유사한 VOC노출을 가진 근로자들에게 통찰력을 제공할 것을 기대. ○ 주요 결과 1974년 이전에 고용되었을 때의 나이가 20살 전이었던 전자 산업에 종사하는 여성 노동자들 중 10년 이상 근무한 여성 노동자에게서 유방암 SIR이 1.62, 전체 여성 노동자들의 유방암 SIR이 1.38이 나옴. - 남성 노동자들 97명 중 22.7%가 신장기능 장애를 가짐. - 에탄올, 아세톤, 사이클로헥산 등의 VOC와 근로자들의 혈압 사이에 양의 연관성이 나타남. ○ 결론 - TFT-LCD 등에서의 VOC 노출과 노동자들에게 심각한 건강 영향을 끼치는 것을 발견함. - VOC 농도가 허용 노출 수준보다 낮더라도, 건강에 해로운 영향을 주는 것을 찾아냄. ○ 활용쟁점 - 허용 노출 수준보다 노출이 낮더라도 건강에 해로운 영향을 주는 것이 밝혀짐에 따라 더욱 엄격한 노출 규제를 위한 방안이 제시되어야 함. 핵심 용어(5개 이내): 전자산업, 노출평가, 건강 위험, VOC			

제목	Chemicals – the status and management in SI(전자산업에서의 화학물질 사용실태와 관리 방안)		
발표자	Chungsik Yoon(윤충식)	전자메일 주소	
소속 : 서울대학교 보건대학원			
○ 배경 - 반도체, 디스플레이 산업(LCD에서 OLED, QLED로 전이단계)의 화학물질 사용과 유해성은 다른 산업의 그것에 비해 덜 알려졌다. - 그나마 반도체 산업의 화학물질은 사회적 이슈로 인해 조금 더 알려졌다나 두 산업 특성상 최근 정보는 잘 모름. ○ 목적 - 반도체 산업과 디스플레이 산업에서의 화학물질과 유해성에 대한 실태를 파악하고 관리 방법에 대해 논의함. ○ 주요 결과 - 국내 11개 반도체 사업장에서 평균 210 ± 124개 화학제품, 135 ± 39개 화학성분이 포함되어 있으며 제품 중 $33 \pm 16\%$가 영업비밀 물질을 포함하고 있음. 영업비밀 물질은 주로 포토 공정과 몰딩 공정의 화학제품에 많이 포함되어 있음. 영업비밀 물질 제품은 디스플레이 산업에 많으며 특히 OLED Cell 공정에서 많음. - 반도체 산업에서 사용하는 화학성분 중 일부만 유해성 정보만 알려졌다. 예를 들어 $30 \pm 6\%$만 직업노출기준을 갖고 있고, NEFA 분류에서 보건, 화재, 반응성의 정보가 없는 물질이 다수임. 발암성 물질과 생식독성 물질이 상당수 있고 돌연변이성 물질은 상대적으로 낮음. - 고온 공정에서 벤젠, 폼알데하이드 중 원료 물질에 없는 물질의 발생이 되는 것이 규명되었으나 실제 반도체 공장에서 해당 물질의 농도는 낮았음. - 화학물질을 관리하는 데는 여러 방법이 동시에 적용되어야 하는데 화학물질 관리프로그램을 수립하여 이해당사자(공급망 포함)와 소통 속에 실행되어야 함. 화학물질을 유해성 등급에 따라 구분하여 회사에 진입할 때부터 폐기될 때까지 각각 관리 방법을 다르게 해야 함. ○ 결론 - 반도체, 디스플레이 산업 특성상 (급격한 기술발전, 정보보호) 화학물질 관리가 어려우나 실행할 수 있는 화학물질 관리프로그램을 운영하되, 공급망 차원에서 관리해야 함. - 미국 EU 등에서 반도체 칩이 생산되면 보건·안전 이슈도 국제적 차원에서 다시 논의될 것이고 우리 기업도 보건·안전에 대해 세계 일류기업이 되어야 함. ○ 활용쟁점 - 원청(모기업)의 화학물질의 유해성 정보가 사내 및 사외 협력사(공급망 차원)에 어떻게 전달되고, 공유될 것인가? - 원청에서 사용하지 않고 협력사에서만 사용하는 화학물질(예, 부품 세정)에 대한 관리 방안을 어떻게 세울 것인가? 핵심 용어(5개 이내): 화학제품, 화학성분, 영업비밀, 유해성, 공급망, 부산물			

제목	Characteristics of Worker's compensation cases in Semiconductor and Display manufacturing Industries in Korea		
발표자	Dong-Hee Koh (고동희)	전자메일 주소	
소속 : 가톨릭관동대학교 국제성모병원			
○ 배경 - 반도체, 디스플레이 산업(이하 전자산업)에서 최근 발생한 산재 사례에 대한 분석 필요 산업 및 직종분류를 정확히 하기 어려운 상황에서 전체 산재 자료에서 해당 산업 및 직종을 추정하여 보고 사례의 실재를 확인할 필요 있음. - 산재보험자료는 보상자료로서 실제 발생을 반영한다고 보기 어렵지만, 주요 사례를 분석함으로써 질적연구로서 의미를 가지며, 정비 작업자 가이드라인 개발에 활용할 수 있음. ○ 목적 - 반도체, 디스플레이 산업에서 최근 10년간 발생한 주요 산재 사례를 정량적, 정성적으로 분석하여 가이드라인 개발에 활용하고자 함. ○ 주요 결과 - 반도체, 디스플레이 산업의 주요 5개 회사에서 발생한 산재 건수는 (최근 10년, 2013~2022년) 총 697건으로 파악됨. 2013년에 108건으로 가장 많았고, 2022년에 92건으로 유지되고 있음. 30대에서 발생이 349명으로 가장 많음. 재해발생의 형태는 넘어짐 사고가 145건으로 가장 많았고, 불균형 및 무리한 동작 62건, 기임 사고가 57건으로 뒤를 이음. - 정비작업자에서 발생한 주요 산재 사건을 고찰하였는데, 가스 누출사고시 응급대응 미비, 전원 차단 이후 작업과 작업재개시 직접 작업자에 의해 재개시가 이루어지지 않아 발생하는 사고의 유형, 작업자간 소통체계 미비, 공정에 대한 이해 부족, 배관교체시 잔류물질 확인 부재 등의 문제가 확인되었고, 이를 반영한 가이드라인 개발이 이루어질 필요가 있음. ○ 결론 - 반도체, 디스플레이 산업에서 산재발생의 규모를 파악하는 것은 의미 있는 일이지만, 실제 발생을 확인하기 위해서는 감시체계, 건보자료 등의 빅데이터 활용 등이 뒷받침될 필요가 있음. - 반도체, 디스플레이 산업에서 정비작업자에서 산재발생 사건을 고찰한 결과 작업자간 소통의 문제, 공정이해의 부족, 작업중지시 조치의 문제, 중량물 취급 등의 문제가 확인되었는데, 이를 예방할 수 있는 가이드라인 제시가 필요할 수 있음. ○ 활용쟁점 - 반도체, 디스플레이 산업에서 사고, 직업병 발생의 실제 규모를 파악하기 위한 빅데이터 활용, 감시체계 운영, 산재자료의 세부 분석 등의 작업이 이어져야 할 필요 있음. - 소규모 사업장, 협력업체의 산재 발생규모를 확인하기 위한 방안 모색 필요함. - 지속적으로 산재사건에 대한 분석을 통해 예방 지침에 활용할 내용 찾는 작업 필요. 핵심 용어(5개 이내): 산업재해, 사고사례 분석, 정비작업자			

제목	Long-term Multiple Chemical Exposure Assessment for a Thin Film Transistor Liquid Crystal Display (TFT-LCD) Industry (TFT-LCD 산업의 장기 및 다중 화학물질 노출 평가)		
발표자	Perng-Jy Tsai, Ph.D.	전자메일 주소	
소속 : College of Medicine, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan			
○ 배경 • 하루 8시간 또는 주 40시간의 TWA 노출기준으로 반복해서 노출 될 경우 장기적 관점의 건강 영향에 대한 연구가 필요함. • 화학 노출농도가 첨단 산업에서 과거에 비해 낮고, PEL-TWA보다도 낮음. • 첨단 산업의 노출량이 낮다면 근로자들에게 미치는 건강 영향이 낮아야하지만 실제로 그렇지 않음. • 따라서 첨단산업에서의 화학물질 다중 노출에 대한 평가가 필요함. ○ 목적 • TFT-LCD(박막 트랜지스터 액정 디스플레이) 산업의 클린룸에 위치한 3개 제조 공정의 8개 작업 영역에서 다중 화학 물질의 장기 노출 평가 실시. ○ 주요 결과 • 8개의 작업 영역에서 총 32 화합물이 검출되었고, 17~28개의 화합물이 각 영역에서 검출되었음. • 8개의 화합물이 원료로 사용되었고, 5개의 화합물은 배출로 인해 노출되었음. • 또한 2개의 화합물은 포토공정의 열반응으로 인한 분산물이며, 16개의 VOCs는 알려지지 않은 부산물 또는 원료로부터 발생하였음. • 가장 높게 검출된 3가지 물질 에탄올(381ppb~2,480ppb), 아세톤(123ppb~624ppb) 및 프로필렌 글리콜 모노메틸 에테르 아세테이트(PGMEA, 14.4ppb~2,241ppb)는 모든 영역에서 검출되었고 허용치보다 훨씬 낮았음. • 1주일간 C(T-VOCs)는 Photo>Cell/PI>Wet>CVD>Dry>G/B>BM/R>ITO 순으로 나타났으며 Photo공정의 C(T-VOCs)는 ITO보다 2.6배 높게 나타났음. • 1년 동안의 C(T-VOCs)도 비슷한 경향을 나타냈으나, 1주일간 C(T-VOCs)보다 높게 나타났음(1.12~1.97). ○ 결론 • 1년 동안의 모든 지역의 장기간 총 다중 화학물질 노출이 허용 노출 수준의 0.10%~20% 범위에 속하는 것으로 나타남. • 본 연구에서는 일상적인 점검 목적을 위해 허용 가능한 C(T-VOC)가 49.1ppm~577ppm 범위에 속하는 것으로 나타남. • 본 연구에서 사용된 접근 방식은 비용과 인력이 덜 필요하다는 점을 고려하면 향후 장기 다중 화학물질 노출 평가를 수행하기 위해 유사한 산업에 적용할 수 있음. ○ 활용쟁점 • 화학물질의 노출량이 PEL-TWA 대비 낮다고 해서 근로자들이 질병이나 위험에 안전하다고 판단 할 수 있는가? • 알려지지 않은 화합물이 신체에 끼치는 영향에 대해 어떻게 평가하고 정립할 것인가? • 유사한 산업에서 화합물에 대해 장기간 노출평가를 할 때 고려해야할 점은 무엇인가? 핵심 용어(5개 이내): 다중 화학물질 노출, 위험 평가, 클린룸, 장기 노출 평가			

제목	Occupational Cancer Mortality and Incidence of Semiconductor Workers: Experience from Korea (반도체 종사자의 직업성 암 사망률과 발생률: 한국의 사례)		
발표자	Eun-A Kim	전자메일 주소	
소속 : Occupational Safety & Health Research Institute , KOSHA , Kore			
○ 배경 - 반도체 산업은 1980~90년대부터 한국에서 시작되어 업체 종사자가 지속적으로 늘어났으며, 지속적으로 질병 또는 사망이 발생하는 경우가 많아짐. 그에 따라 다양한 직업적 유해성과 질병 발생 위험에 대해 연구되어 왔음. ○ 목적 - 반도체 산업에서의 여성과 남성의 코호트 분석을 통해 암 및 백혈병 등 발병률에 대해 살펴보고 위험 요인에 대해 논의가 필요함. ○ 주요 결과 - 반도체 제조업 종사자 201,057명으로 구성된 후향적 코호트를 분석한 결과, 암 발병 건수는 3,442건, 사망 건수는 1,178건이었음. - 여성 작업자, 특히 20~24세 여성 작업자의 백혈병 표준 발병률(SIR)은 2.74 (95%CI 1.01~5.97)로 전체 인력에 비해 상당히 높았고, 남성 장비 엔지니어의 SIR도 일반 인구에 비해 1.28(95%CI 0.51~2.63), 전체 인력 대비 1.51(95%CI 0.61~3.11)로 증가했지만 통계적으로 유의하지는 않았음. - 비호지킨 림프종의 경우 SIR이 1.92(95%CI 1.29~2.76)로 일반 인구에 비해 여성 작업자에서 비율이 유의하게 높았고, 전체 인력에 비해 SIR이 2.19(95%CI 1.47~3.14)로 유의하게 높았음. - 또한, 비호지킨 림프종에서 일반 인구에 비해 여성 근로자 사이에서 SMR이 2.52(95%CI 1.26~4.51)로 유의하게 높았고, 전체 근로자와 비교해도 SMR이 3.68(95%CI 1.84~6.59)로 유의하게 높았음. ○ 결론 - 반도체 공정에서의 유해인자에 대해 작업환경 평가, MSDS, 실험 평가 등 여러 가지로 노출에 대해서 연구가 진행되었으나, 실제로 회사에서 사용하는 화학물질에 대한 숨겨진 부분들이 훨씬 많음. - 암 위험이 증가되는 이유에는 변화되는 작업환경과, 복합적인 화학물질 사용, 그리고 아직 알려지지 않은 독성 등이 있음. - 관찰된 암의 정확한 원인은 현재 파악하기 어려움. 그러나 주로 클린룸에서 일하는 여성 작업자 및 장비 엔지니어의 위험이 더 높다는 점을 고려하면, 클린룸 내에 존재하는 요인과 위험 증가가 연관이 있을 수 있음. ○ 활용쟁점 - 향후 고도화 되는 반도체 공정에서 변화하는 작업환경과 복합적 노출을 어떻게 분석하고 대응 할 것인지? - 기업 보안사항으로 인해 알려지지 않은 화학 물질에 대해 연구하고 작업자를 보호할 방법을 어떻게 세울 것인가? 핵심 용어(5개 이내): 반도체, 직업, 암, 코호트			

제목	Semiconductor & Display Industry: An Explorative Health Outcome Analysis (전자산업체의 건강 위험에 대한 탐색적 분석)																							
발표자	Jinha Yoon(윤진하)	전자메일 주소																						
소속 : 연세대학교 의과대학																								
○ 배경																								
- 반도체, 디스플레이 산업(이하 전자산업)의 건강 위험에 대한 탐색적 분석이 필요함. - 현재, 상기 산업의 건강 위험에 대한 전반적 분석을 시행하기 위한 단독 데이터는 없어, 건강보험공단 자료, 산업재해보상보험자료, 자체 메타 데이터를 활용하여 탐색적 분석을 수행할 필요가 있다. - 또한, 과거 전자산업을 통칭하여 보건정책을 마련하던 연구에서 더 나아가, 소규모 사업장과 중규모 이상 사업장의 차이를 발견하여, 향후 보건학적 관리, 연구 방향을 모색하고자 한다.																								
○ 목적																								
전자산업에서 다중(Multi), 메타(Meta) 데이터를 이용한 탐색적 분석과, 소규모 중규모 사업장의 건강 수준 차이를 통한 보건학적 함의 도출																								
○ 주요 결과																								
- 국민건강보험공단 자료를 분석한 결과, 전자산업에서 여성의 백혈병 발생률은 타 산업에 비해 높게 발생하였고, 그 크기는 2.57배(95신뢰구간, 1.49-3.73)이었음. - 근로복지공단 산업재해보상보험을 활용하여 샘플링한 본 연구 데이터를 분석한 결과, 백혈병은 50인 이상의 사업장에서 주로 발생하였고, 50인 미만의 사업장에서의 발생률은 관찰되지 않았음. 반면에, 소규모 사업장에서 전체 재해율, 손상 재해율은 높았음. - 이를 요약하면,																								
<table><tr><td>Total</td><td>AR:</td><td>S</td><td>></td><td>L</td><td rowspan="4">S: small, L: large industry, AR: accident rate 로 전체 사고율과 상해율에서 작은 규모의 기업이 큰 규모의 기업보다 높았으나, 질병 및 백혈병 사고율에서는 큰 규모의 기업이 높음.</td></tr><tr><td>Injury</td><td>AR:</td><td>S</td><td>></td><td>L</td></tr><tr><td>Disease</td><td>AR:</td><td>S</td><td><</td><td>L</td></tr><tr><td>Leukemia</td><td>AR:</td><td>S</td><td>≪</td><td>L</td></tr></table>				Total	AR:	S	>	L	S: small, L: large industry, AR: accident rate 로 전체 사고율과 상해율에서 작은 규모의 기업이 큰 규모의 기업보다 높았으나, 질병 및 백혈병 사고율에서는 큰 규모의 기업이 높음.	Injury	AR:	S	>	L	Disease	AR:	S	<	L	Leukemia	AR:	S	≪	L
Total	AR:	S	>	L	S: small, L: large industry, AR: accident rate 로 전체 사고율과 상해율에서 작은 규모의 기업이 큰 규모의 기업보다 높았으나, 질병 및 백혈병 사고율에서는 큰 규모의 기업이 높음.																			
Injury	AR:	S	>	L																				
Disease	AR:	S	<	L																				
Leukemia	AR:	S	≪	L																				
하지만, 타 데이터를 고려할 때 소규모 사업장도 유해물질에 노출되고 있어, 상기 결과과 실재를 반영한 것인지, 저평가된 것인지 확증할 수 없음.																								
○ 결론																								
- 반도체, 디스플레이 산업에서 혈액암의 위험은 타 산업보다 높음. 주로 중규모 이상의 회사에서 상길 질환이 발생하고 있으나, 이는 소규모 사업장이 더 안전하다고 결론을 내리기는 어려운 상황. - 낮은 발생률은 실제로 낮은 위험이 아닌 정보 부족으로 인해 발생할 수 있어 추가 연구가 필요함.																								
○ 활용쟁점																								
- 국민건강보험공단(NHIS) 데이터와 근로자 보상 기록을 이용한 비교 분석 필요. - 독성학을 넘어서 정보 진단, 사회적 관리의 필요성 논의. - 다양한 방향의 데이터 탐색으로 보건학적 정책 도출 가능성 있어, 추가 연구 필요.																								
핵심 용어(5개 이내): 빅데이터, 소규모 사업장, 정보 불균형																								

제목	Characteristics of Peak Exposure of Semiconductor Workers to Extremely Low-frequency Magnetic Fields : 반도체 근로자 극저주파 자기장 피크 노출 특성		
발표자	Donguk Park(박동욱)	전자메일 주소	
소속 : Korea National Open University			
○ 배경 • 근로자 극저주파 자기장(ELF-MF) 피크 노출 특성 및 암 연구와 연관 연구 부족 • 반도체 제조 공정환경에서 (ELF-MF) 피크 노출특성 연구 부족 ○ 목적 • 반도체 제조공정 환경에서(ELF-MF) 피크 노출 특성 규명 ○ 주요결과 • 확산, 이온 주입기 작업, 모듈 및 칩 테스트 작업자 작업시간 동안 0.5μT 이상의 ELF-MF에 노출됨 • 전기 설비를 유지보수하는 엔지니어는 가장 높은 ELF-MF 피크 수준(평균 2.5μT, 1μT 이상 평균 3.6μT) • 칩 테스트 작업자 일일 평균 ELF-MF 노출 수준에 대한 피크 레벨의 일일 기여도가 가장 높음(98.1% 및 83.9%) • 화학 기계 평탄화 엔지니어, 웨이퍼 테스트 작업자, 클린룸 외부의 행정 • 클린룸 외부 근로자 평균 노출량은 0.5μT 미만이었음. 0.5μT 또는 1μT 피크 노출 낮은 일일 기여도와 함께 피크 노출 수준임(각각 16%, 11.9%, 18.7%) ○ 결론 • 대부분의 피크 노출을 나타내는 활동과 작업 위치는 반도체에 ELF-MF를 생성하는 기계 옆에서 이루어진 것을 확인함. ELF-MF 피크 노출 줄이기 위한 공학적 대책 제시 가능함 ○ 활용쟁점 • 전자산업에서 ELF-MF 피크 노출을 줄이기 위한 대책 가이드에 포함 핵심용어(5개이내) : 반도체 정비작업, 극저주파 자기장, ELF-MF 피크 노출, 피크 노출			

3. 안전보건 가이드 전문 (6종)

2023-산업안전보건연구원-720



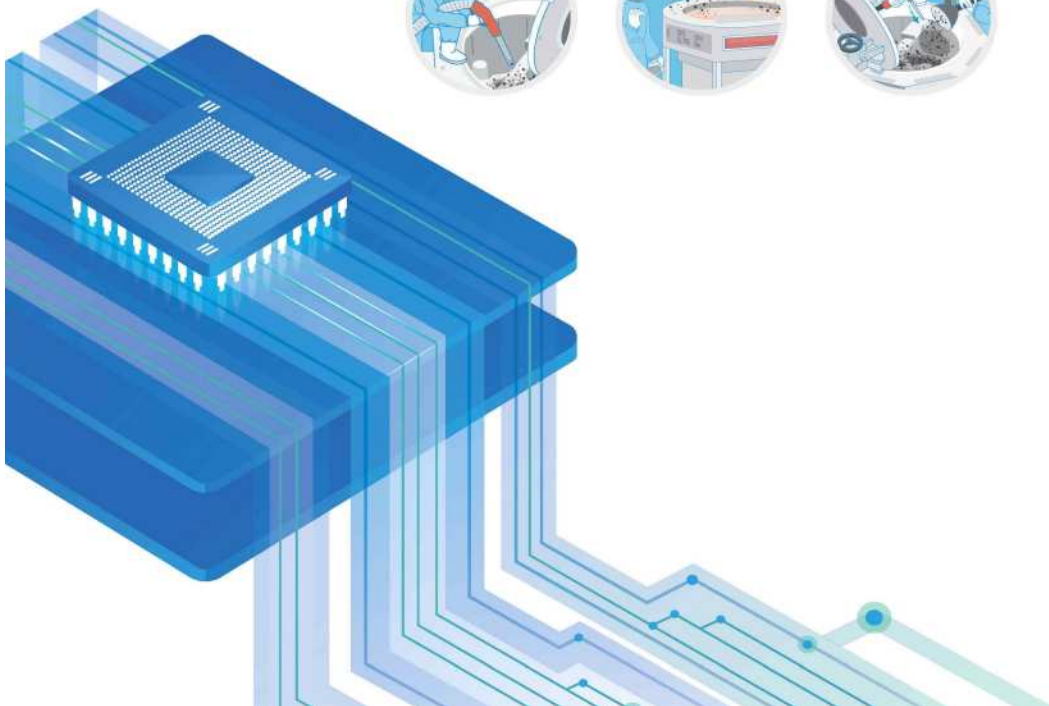
고용노동부

산업재해예방

안전보건공단
산업안전보건연구원



전자산업 증착공정 설비 정비작업 안전보건 가이드



전자산업 증착공정 설비 정비작업 안전보건 가이드

요 약

증착 공정 설비 정비 작업 중에는 증착 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. 증착 공정 설비 정비 작업을 안전하게 마치려면 아래와 같은 주요 작업 절차를 따른다. 본 안전보건 가이드를 바탕으로 공정, 설비, 정비 작업 특성에 따른 구체적인 조치 사항을 반영하여 사용할 것을 권장한다.

1. 증착 공정 설비 정비 작업 전 안전보건 조치 사항

- 회사의 규정에 따라 증착 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. 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. 호흡보호구는 방독 또는 고성능필터(HEPA) 마스크를 착용한다. 챔버를 열 때 열로부터 눈을 보호하기 위해 보안경을 착용한다.
- 증착 챔버를 충분히 세정하고 퍼지하여 산소 농도, 온도, 기압, 유해가스 농도 등이 정비 가능한 상태가 되었는지 확인하고 기다린다.

2. 증착 공정 설비 정비 작업 중 안전보건 조치 사항

- 증착 챔버를 열고 뚜껑(Shield), 커버, 타깃판 등을 해체하고 부착할 때 안전조치를 취한다. 또한 크레인, 호이스트, 리프트 등 위험한 기계나 기구를 이용할 경우 적정한 기계 상태와 성능 점검, 운전자와 신호수 지정, 안전구역 표시 등 철저한 안전조치를 취한다.
- 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.
- 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. 증착 공정 설비 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

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

4. 증착 공정 설비 정비 작업 주요 안전보건 점검 리스트

1) 정비 작업 전과 작업 중 안전보건 점검 사항

점검 항목	예	아니오	해당없음
회사 규정에 따라 정비 작업을 위한 안전작업허가서를 받았는가?			
정비 작업 내용을 구체적으로 지시받고, 그 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 차단 및 제거, 전기 차단, 압축공기 차단 등의 안전조치를 했는가?			
정비 대상 챔버, 장비, 기계 등을 확인했는가?			
정비 작업구역을 설정하고 접근 제한 조치를 취했는가?			
챔버, 배관 등의 내부 압력 제거, 유해·위험 물질 제거 등의 안전조치를 취했는가?			
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?			

점검 항목	예	아니오	해당없음
비상사태 발생 시 조치 사항 등 핵심 안전보건 교육을 받았는가?			
방진 또는 방독 마스크 등 정비 작업에 적절한 개인보호장비를 착용했는가?			
정비 작업공간을 지속적으로 퍼지해서 유해가스를 제거하고, 주기적으로 산소와 유해가스의 농도를 측정하고 있는가?			
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?			
팔판 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?			

점검 항목	예	아니오	해당없음
증착 공정 설비 정비 중 추가로 기록해야 할 사항이 있다면 써 주세요.			

1 목 적

- (1) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 중 증착 설비 정비 작업에 대한 안전작업절차를 제공하여 작업 중 발생할 수 있는 안전보건 유해·위험 요인 노출로 인한 근로자의 부상과 건강 영향을 예방한다.
- (2) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 중 증착 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 생산 공정 중 증착 공정의 주요 설비와 부속 설비를 정비할 때 안전보건 유해·위험 요인에 대한 노출을 최소화하여 안전보건 위험을 관리하는 데 적용한다.
- (2) 증착 공정별로 발생하는 구체적인 안전보건 위험을 관리하기 위한 가이드는 필요할 경우 따로 개발할 필요가 있다.
- (3) 본 가이드는 증착 공정을 이용하는 여러 산업에서 안전보건 위험을 관리하는 데 응용할 수 있다. 증착 기술은 아래와 같이 많은 제조 산업에서 박막과 코팅 공정에 널리 사용되기 때문이다¹⁾.
 - 디스플레이와 조명 산업: LCD, OLED 등 디스플레이 제조에 광범위하게 사용된다. LED와 OLED 같은 조명 장치 생산에도 사용된다.

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)

- 반도체산업: 집적회로, 마이크로 칩, 박막트랜지스터(TFT) 제조에 광범위하게 사용된다.
- 전자산업: 인쇄회로기판(PCB), 저항기, 커패시터, 인터커넥터 등의 전자부품 생산에 활용된다.
- 광학 및 포토닉스 산업: 카메라·렌즈·디스플레이·레이저·광섬유에 사용되는 광학 코팅, 박막 필터, 반사 방지 코팅, 기타 광학 부품을 만드는 데 중요한 역할을 한다.
- 태양에너지 산업: 박막태양전지, 태양전지 패널, 기타 광전지 장치 생산에 사용된다.
- 자동차산업: 엔진 부품, 센서, 헤드라이트와 같은 부품에 부식 방지용 코팅, 장식 마감, 기능성 코팅을 증착하는 등 다양한 용도로 사용된다.
- 의료기기산업: 임플란트, 스텐트, 카테터, 진단 기기에 생체적합성 코팅, 약물 용출 코팅, 기타 기능성 코팅을 하는 데 사용된다.
- 항공우주 및 방위 산업: 항공기 부품, 로켓 노즐, 레이더 시스템 및 센서의 보호 코팅, 열 차단 코팅, 기타 기능성 코팅을 하는 데 매우 중요한 역할을 한다.

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.
- 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 이

용한다. 기존 LED보다 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.
- 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.
- 물리기상증착(Physical Vapor Deposition, PVD): 진공상태에서 소재를 가열하여 기화한 다음, 그 증기가 기판에서 응축되어 박막을 형성하는 물리적 방법이다. 열 증착(Thermal Deposition), 전자빔증발(Electron Beam Evaporation), 스퍼터링(Sputtering)이 있다. 재료 구성, 필름 두께, 원하는 필름 품질을 포함하여 증착되는 박막의 특정 요구 사항에 따라 다른 방법을 선택할 수 있다.

- 화학기상증착(Chemical Vapor Deposition, CVD): 전구체 가스가 기판 표면에서 반응하거나 분해되어 고체 필름을 형성하는 화학적 방법이다. 다양한 전자와 광전자 장치에 사용되는 실리콘, 금속산화물이나 질화물(Nitrides)과 같은 무기 재료를 만드는 데 사용된다. 봉지(Encapsulation), 박막 증착(Thin Film Deposition, TFD) 공정에 활용될 수 있다. 플라스마 강화 화학 기상증착(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition, PECVD), 저압 화학기상증착(Low-Pressure Chemical Vapor Deposition, LPCVD), 대기압 화학기상증착(Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition, APCVD)이 있다.
- 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. 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. 챔버 등 밀폐된 공간이 될 가능성이

있는 곳에서 산소가 부족하거나 유해가스가 쌓일 경우 질식이 발생할 우려가 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) 증착 설비 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 챔버 정비 작업의 책임자를 지정하고, 정비 작업 허가 등 안전보건의 책임을 맡도록 한다.
- (3) 증착 정비 작업 책임자는 작업을 허가할 때 안전조치 사항들을 확인·기록·관리하는 한편, 정비 근로자들이 안전하게 작업을 마칠 수 있도록 현장관리의 책임을 진다.

4.2 정비 작업 전 관계 부서와 협조, 확인

- (1) 정비 작업과 연관되는 공정 등에 대해 관계 부서 담당자와 정비 작업 범위·내용·협조 사항을 협의, 통보한다. 예를 들면 관계 부서는 정비 대상 챔버 운전과 관련되는 부서(공정 제조반), 예방 정비반(정비 계획 정비반 등) 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.

4.3 공정 장비 운전, 전기적 차단, 격리

- (1) 정비 작업을 시작하기 전에 정비 대상 챔버, 가스 공급 라인, 장비 등을 확인하고, 전원을 차단하거나 설비 제조사에서 정한 정비 모드로 바꾼다. 장비별로 차이는 있을 수 있다.
- (2) 전원은 완전 차단·분리하여 절대 실수 등으로 인해 우발적으로 장비가 가동되지 않도록 잠그고, 표시한 꼬리표를 달아 놓는다(Lock-Out/tag out-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 Chuck이 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 모듈등 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 정비작업서에 상세하게 기재한다.

(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.

- 2) 공정 시스템 또는 시설 내의 다양한 프로세스 장비, 기기, 파이프, 밸브의 상호 연결과 배치를 나타내는 상세한 도면
3) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제 630조(불활성기체의 노출)

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

- (1) 증착 공정에서 정비 대상 챔버, 장비, 기계, 작업 인원 등을 확인하고 준비한다.
- (2) 증착 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 작업을 시작하기 전에 위험성평가를 수행하여 증착 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 증착 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) 증착 설비 정비 작업에서 발생할 수 있는 공통적인 잠재적 안전사고와 유해·위험 요인은 다음과 같다.
 - (가) 파열 위험: 챔버를 열기 전후에 내부 압력을 올바르게 바깥과 맞추지 않으면 파열과 같은 위험을 초래할 수 있다.
 - (나) 신체적 위험: 챔버 뚜껑을 열고 타깃판 등 장비나 부품 등을 교체하는 과정에서 사용하는 기기로 인한 중대재해 가능성이 있다. 특히 크레인을 이용할 때 위험이 더 크다.
 - (다) 밀폐공간 관련 위험⁴⁾ : 챔버는 밀폐공간 또는 반밀폐공간으로, 산소부족

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

이나 유해 물질 중독이 일어날 수 있는 환경이다. 증착 기술과 증착 대상 제품 등에 따라 챔버의 크기와 밀폐 정도는 다르지만, 기본적으로 제한된 환경에서 중독, 산소결핍 등의 잠재적 위험이 있다.

- (라) 고온 위험: 고온 챔버에서 작업할 때 챔버 설비를 충분히 식히지 않으면 화상을 입을 수 있다.
- (마) 미세먼지 노출 위험: 챔버를 열고 부품 분해, 청소, 정비 등을 수행할 때 증착 공정에 사용된 각종 화학물질이 포함된 미세먼지에 노출될 수 있다. 미세먼지 성분은 증착 기술에 따라 달라진다.
- (바) 화학물질 노출 위험: 챔버 안과 밖에서 부품을 세정할 때 사용하는 화학 물질(IPA 등)에 노출될 수 있다.
- (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) 중독 위험: 설비 결함이나 소통 오류 등으로 정비 작업 중 유해화학물질이 유입되어 중독이나 질식 위험이 있다.
- (자) 감전 위험: 설비의 전원 차단을 위한 케이블 분리 시 감전 위험이 있다.
- (차) 넘어짐, 추락 위험: 챔버, 설비 등 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 (그림1 참조).



- (3) 증착 공정 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 심각성은 근로자에게 치명적일 뿐만 아니라 공정 손실 등 경제적 손실이 매우 크다.
 - (나) 화학물질이 포함된 먼지와 흙 노출로 인해 급성 또는 만성 호흡기질환이 발생할 수 있다. 챔버를 청소하고 정비하는 데 사용되는 세정제에는 급성과 만성 독성, 부식성, 인화성이 있는 산, 염기, 유기용제와 같은 유해화학물질이 포함될 수 있다. 이러한 화학물질은 올바르게 취급하지 않으면 폭발, 화재 등은 물론 건강상 치명적인 급성중독, 피부 자극, 호흡기질환, 눈 손상 등이 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 담는 폐기물 용기, 청소 재료 준비 여부 등

4.7 안전보건 교육

- (1) 증착 설비 정비 작업을 수행하고 관련되는 부서 근로자들은 증착 설비 정비 작업의 위험과 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 사항과 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 증착 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 근로자를 구조하다가 질소에 중독됨. 챔버, 탱크 등 밀폐공간 안에서 구조 등 응급조치를 할 때는 호흡보호구 등 적절한 개인보호장비를 착용하고 대응해야 함.

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

- (가) 화재, 폭발, 안전사고 등의 긴급 사고가 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 연락하여 적절한 의료 조치를 받도록 한다.
- (다) 눈, 피부 등에 화학물질이 튀거나 닿았을 때는 즉시 근처 세척·세안 설비로 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 비상 조치 계획을 마련한다.

5 정비 작업 중 안전보건 조치 사항

5.1 적절한 개인보호장비 착용

- (1) 증착 설비 정비 작업에서 발생하는 건강위험 요인은 미세먼지, 흙, 가스상 물질, 잔류 화학물질 등이 대부분이므로, 이를 제거할 수 있는 기준의 방독 또는 방진 마스크 등의 호흡보호구를 착용한다. 배기 장치, 에어컨, 크레인 가동 등으로 인한 소음 노출을 줄이기 위해 귀마개 등을 착용한다(아래 산재사고 사례 참조).

정비 작업 중 방독마스크 등 호흡보호구 착용하지 않아 화학물질 중독

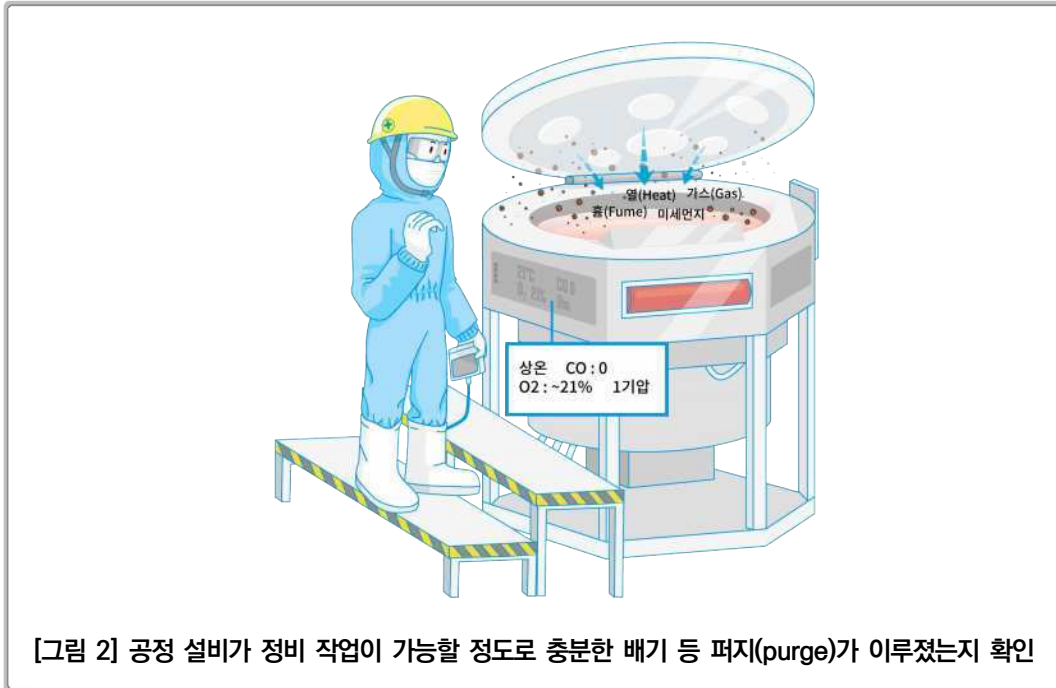
- 1) 사고 재해자는 전자산업 OO 사업장에 납품 설치한 CCSS 장비 내부 화학물질 누출 정비 SOP 작업을 마련하기 위해 호흡보호구를 착용하지 않은 채로 설비 장비 내부로 들어가 사진 촬영 중 세정 노즐에서 황산액이 분출되어 재해를 입음. 설비 안으로 들어가는 모든 근로자는 호흡보호구 등 적절한 개인보호장비를 착용해야 함.
- 2) 사고 재해자는 전자산업 ** 공정 ** 펌프 모델 변경 작업 진행 중 배관 내부에서 액체 화학물질이 눈으로 떨어져 눈이 손상됨. 배관 등 모든 정비 작업에서는 호흡기, 눈 등 신체를 보호하기 위한 개인보호장비를 착용해야 함.
- 3) 사고 재해자는 전자산업 ** 공정 ** 설비 정비 작업 중 설비 내 칼럼 기계 등을 스패너로 분해할 때 누출된 소량의 응축된 액체 화학물질이 신체와 접촉함. 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.

- (2) 증착 설비 정비 작업자는 호흡보호구, 보안경, 안전모, 고글, 귀마개 등의 개인보호장비를 착용한다. 추락하거나 넘어질 위험이 있는 높이에서 작업할 경우 작업 발판을 설치한다. 작업 발판 설치가 어려울 때는 추락 방호망을 설치하고, 이러한 조치가 곤란한 경우에는 근로자가 안전대를 착용한다⁵⁾.

- (3) 증착 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.

5.2 정비 대상 증착 챔버 식히기, 환기 등

- (1) 증착 챔버를 열기 전(정비 작업을 시작하기 전)에 챔버가 작업을 할 수 있을 정도로 안전한 압력과 온도로 내려갔는지 확인하고, 유해가스 등이 충분히 나갈 때까지 환기하며, 적절한 조치를 한다(그림2 참조).
- (2) 정비 대상 챔버의 내부를 충분히 퍼지한다(아래 산재사고 사례 참조).
- 챔버를 열기 전 챔버 안에 남아 있는 가스상 물질, 입자상 물질, 열 등이 최소 수준이 될 때까지 배출되도록 한다.
 - 챔버 설비 정비 작업 전 질소나 아르곤과 같은 불활성가스로 챔버 내부를 퍼지하여 남아 있는 화학물질, 연기, 열 등을 제거한다(그림2 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.

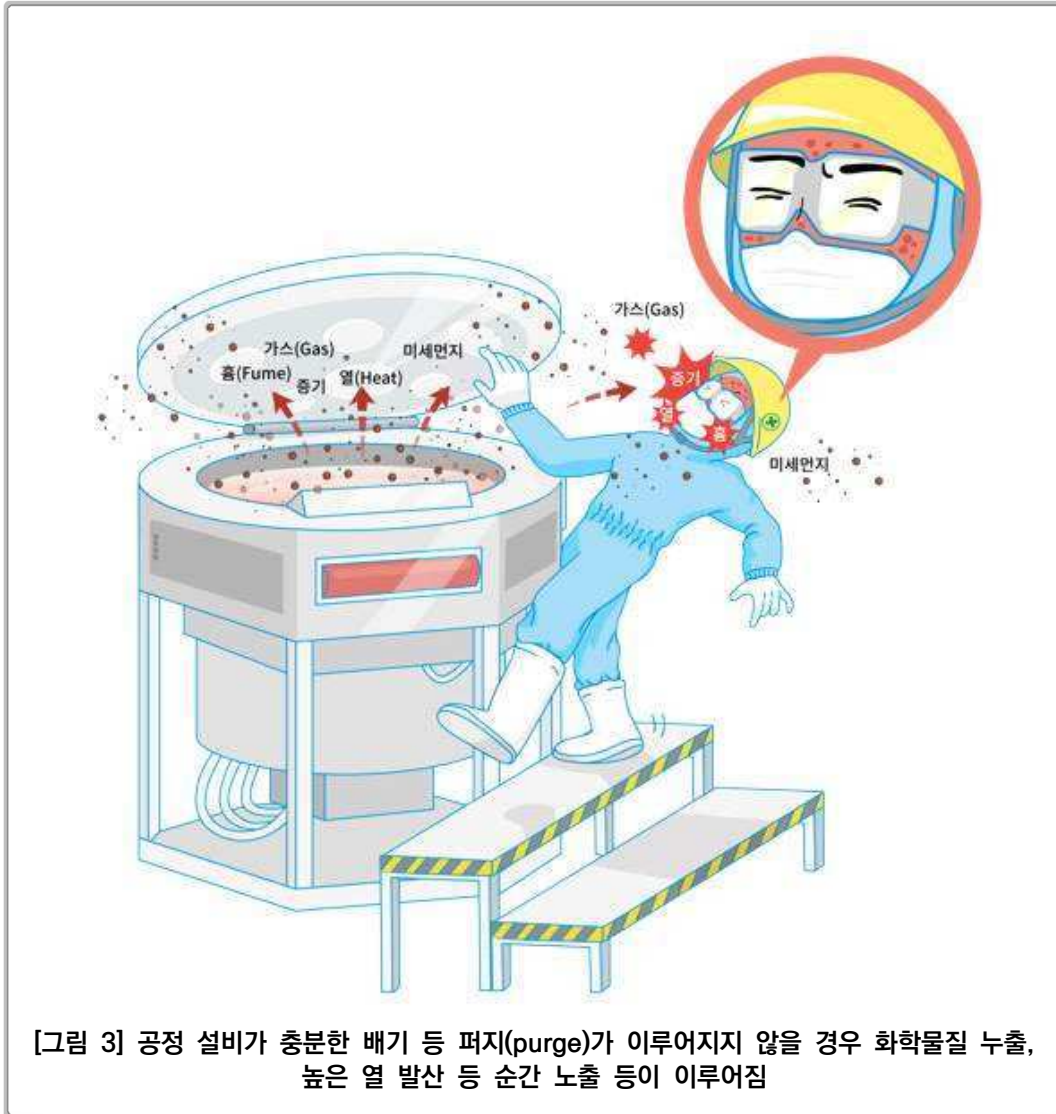
5.3 정비 대상 챔버 개방

- (1) 챔버를 열 때 내부 압력을 대기압과 맞추는 등의 필요한 안전조치를 취한다.
크레인, 호이스트, 리프트 등의 설비에서 다양한 방법으로 챔버를 열고 기계, 부품 등을 분리·해체할 때는 필요한 안전조치를 취한다. 만약 크레인을 이용하여 챔버 뚜껑을 열 때는 다음과 같은 철저한 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, 챔버 뚜껑의 부착 지점과 이동하는 경로를 포함하여 제거 프로세스를 계획한다.
- 훅, 와이어로프, 체인, 벨트 슬링 등의 줄결이 용구 같은 리프팅 장비에 이상이 없는지 점검하고, 하중에 적합한지 확인한다.
- 크레인이 다른 장비나 구조물에 방해받지 않고 챔버 뚜껑에 최적으로 접근할 수 있도록 배치한다.
- 제조업체에서 권장하는 리프팅 러그를 사용하고, 줄결이 지점 등 챔버 뚜껑을 들어 올릴 적절한 지점을 파악한다.
- 중량물 운반에 사용하는 용구는 안전율이 “5” 이상인 것을 구매하여 사용하며, 자체 제작 리프팅 러그를 사용할 경우 비파괴시험을 한다⁶⁾.
- 리프팅 중에 슬링이나 체인이 미끄러지거나 빠지지 않도록 단단히 붙였는지 다시 한번 확인한다.
- 크레인 운전자와 챔버 뚜껑을 열고 방착판을 제거하는 과정에 관여하는 직원 사이에 명확하고 효과적인 의사소통 체계를 구축한다.
- 신호수는 크레인 and 챔버 뚜껑 주변에 접근 금지구역을 설정하여 허가받지 않은 사람이 들어가지 못하도록 한다.

(2) 챔버를 열 때 챔버 공정에서 사용된 각종 반응성 가스, 독성가스는 물론 미세입자, 고열 등이 밖으로 나올 수 있으므로 챔버를 열 때 챔버 내부에 남아 있는 유해·위험 물질을 충분히 제거한다(그림3 참조).

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



- (3) 챔버 내부의 공기 중 온도, 압력, 산소, 유해가스 농도가 일정 수준으로 유지되는지 확인한다. 정비 작업 중 공정 가스 등이 유입되지 않는지 수시로 확인한다(10페이지 산재사고 사례 참조).
- (4) 챔버 안의 산소 농도는 20 % 이상인지, 폭발성가스 농도는 폭발한계 밖인지, 기타 유해 물질의 농도는 작업환경 기준치나 사내 기준치를 초과하는지

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

5.4 챔버 정비

- (1) 챔버 뚜껑을 열고 방착판, 타깃판, 뚜껑 등 정비 대상 부품을 교체한다. 방착판, 타깃판, 뚜껑(cover, 커버)이 무겁고 커서 크레인을 이용하여 작업할 때는 5.3(1)에서 정한 크레인 안전작업절차를 지킨다. 수동으로 제거, 교체할 경우 안전하고 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.

- (2) 방착판, 뚜껑 등 개방 또는 제거

- 크레인 운전자가 지정된 신호 담당자의 신호와 지시에 따라 방착판을 서서히 안정적으로 들어 올리도록 지시한다. 방착판이 수직으로 올라가고 챔버 내부에 장애물이나 잠재적 위험이 없는지 확인한다.
- 리프트를 주의 깊게 모니터링하여 불안정하거나 장비가 오작동하는지 징후를 파악하고, 필요한 경우 작동을 중단할 준비를 한다.

7) 업종, 공정 등에 따라 다양한 용어들이 쓰임.

(3) 방착판, 뚜껑 등 이동, 보관, 세정 등 추가 조치

- 방착판, 뚜껑 등을 챔버에서 떼 후에는 조심스럽게 천천히 움직이면서 지정된 보관 장소나 적절한 지지 구조물로 옮긴다. 소형 방착판을 인력으로 이동·운반할 경우, 인력 운반 작업계획서를 작성하여 계획에 따라 작업을 지휘한다.
- 방착판, 뚜껑 등이 우발적으로 움직이거나 쓰러지지 않도록 적절히 고정하고, 안정된 상태에서 방착판을 보관 장소에 안전하게 내려놓는다.
- 방착판, 뚜껑 등을 공장 외부 등 세정 장소로 이동할 때는 안전사고를 예방하기 위한 조치를 취한다.

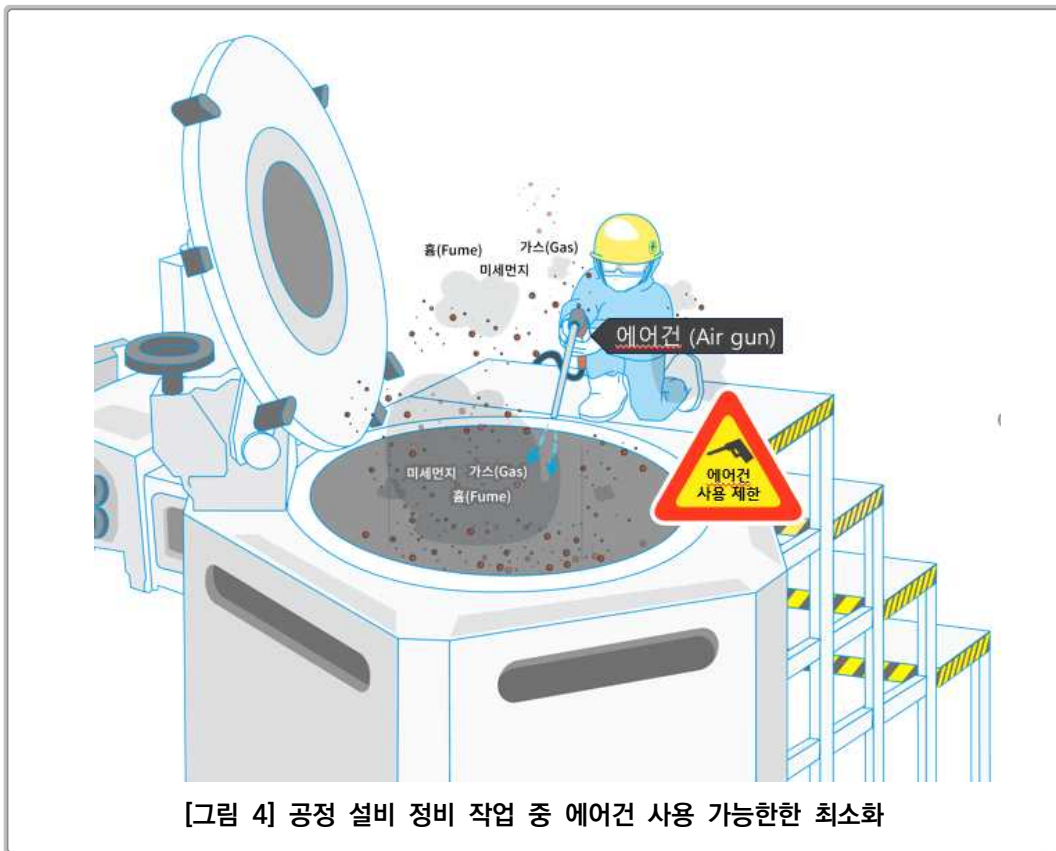
(4) 챔버 안 또는 주변 정비 작업

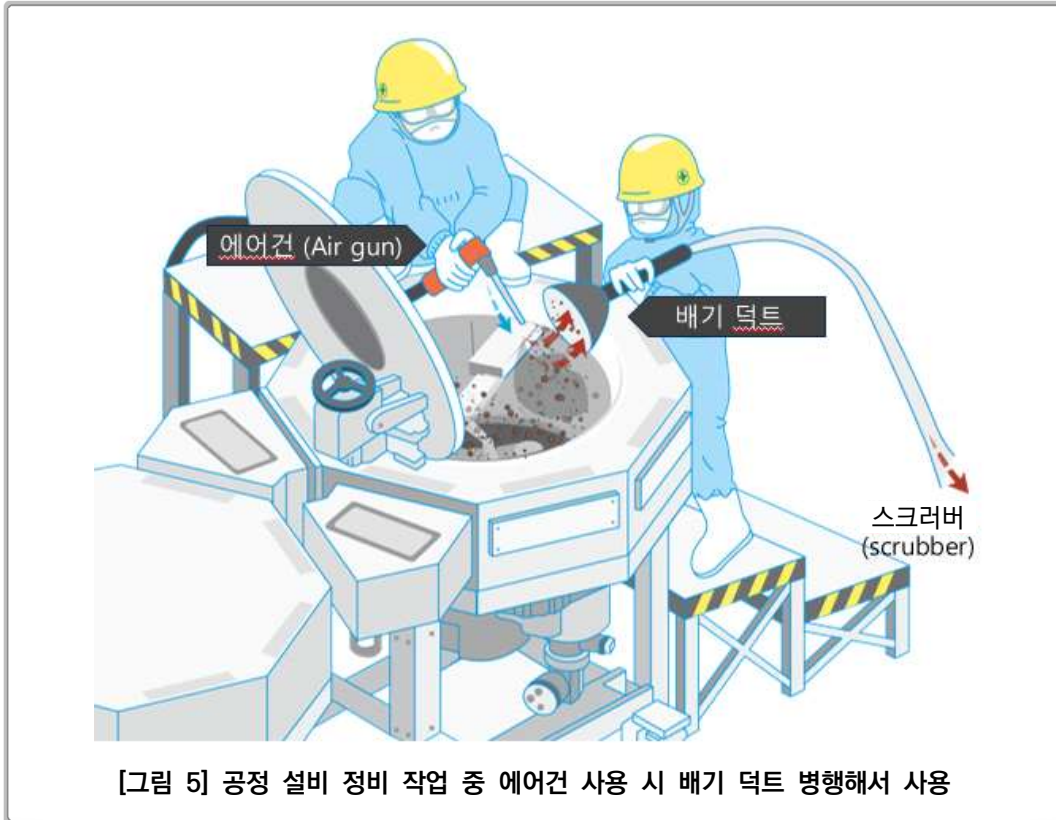
- 챔버 안 정비 작업 시 챔버 구성 요소, 장비, 재료 등을 회사가 정한 규칙과 방법에 따른다.
- 방착판, 뚜껑 등을 떼 후 챔버 구조물에 걸려 넘어지지 않도록 유의하며 필요한 경우 챔버 내부로 들어간다⁸⁾.
- 챔버 안 정비 작업 시 챔버 구성 요소, 장비, 재료 등을 회사가 정한 규칙과 방법에 따른다.
- 챔버 내부를 클리닝한다. 진공청소기, 브러시, 헝겊, 화학물질(IPA) 등을 사용하여 챔버 내부의 이물질, 먼지, 입자 등 잔여물을 철저히 제거한다. 챔버를 세척하고 정비하는 데 사용되는 모든 화학물질은 규정에 따라 취급하며, 안전사고와 인체 노출을 방지하기 위해 적절한 예방조치를 한다.
- 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 스크리버로 연결하며, 만약 어려울 경우 공기정화장치를 붙인

8) 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.

다. 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(그림4, 5 참조).

- 일정 높이에서 챔버를 정비 작업할 때 발판 등에서 넘어지거나 높은 곳에서 일하다 떨어지지 않도록 높이에 따른 작업공간 확보 등 적절한 예방조치를 취한다(아래 산재사고 사례 참조).





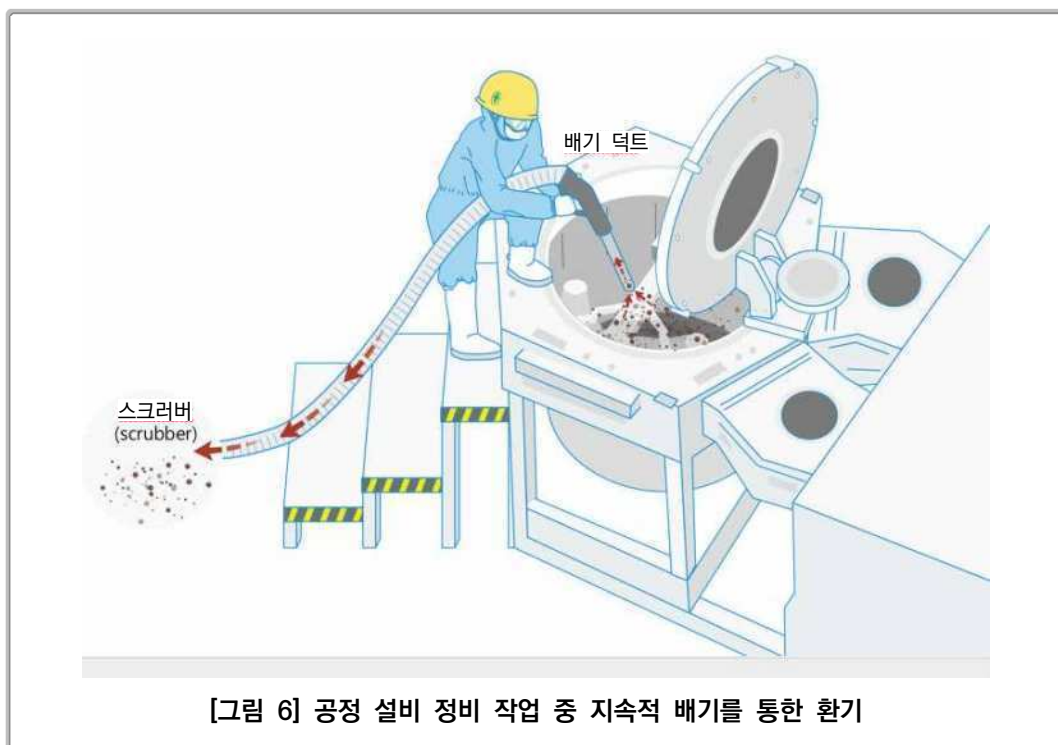
화학물질 탱크 위 대응 정비 작업 후 넘어지면서 주변 시설 파손으로 화학물질 중독

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

- 전기 연결 점검, 온도 제어 모니터링, 진공 시스템, 발열체, 열전대, 팬 등 모든 부품을 검사하여 양호한 상태인지 확인한다. 챔버 내부의 발열체나 기타 구성품이 손상되지 않도록 주의한다. 필터 등 마모되거나 손상된 구성품은 필요에 따라 교체한다.

5.5 챔버 정비 작업 중 충분한 환기

- (1) 정비 작업 동안 챔버 안에 각종 금속산화물, 나노 탄소 먼지, 유기물 등이 포함된 먼지, 가스, 세정제 등이 쌓이지 않도록 지속적으로 적절한 환기를 한다 (그림6 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, 흠, 먼지 등의 물질은 가능한 허용농도 이하, 산소 농도는 18.5 % 이상 23.5 % 이하, 인화성 가스 농도는 폭발하한의 25 % 이하가 되도록 환기한다.

6 정비 작업 후 안전보건 조치 사항

6.1 청소 등 폐기물 처리

- (1) 증착 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.

6.2 공정 재가동 전 안전보건 조치

- (1) 증착 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 마친 후, 공정을 다시 가동하기 전에 제조 공정반, 정비 작업반 등 관계 부서 및 관계자와 함께 사전 안전보건 점검을 한다.

6.3 공정 재가동 후 공정 테스트

- (1) 증착 설비 정비 작업을 마치고 안전 점검을 마친 후 증착 공정을 다시 작동

하고 공정이 원활하게 유지되는지 관련 운전 변수를 점검한다. 최적의 상태 인지 확인하고 정비 작업을 마친다.

- (2) 증착 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.

7 작업환경측정 및 특수건강진단 실시

- (1) 보건관리자(사업주)는 증착 설비 정비 근로자가 노출될 수 있는 유해 인자를 정기적으로 측정하고 모니터링한다. 자세한 유해 인자 측정 방법 지침은 KOSHA Guide “시료채취 및 분석지침”을 참조하여 정비 작업 근로자가 노출되는 유해 인자 노출수준을 평가한다. 국내외에서 인정하는 공인된 시료채취와 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 증착 설비 정비 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 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) 증착 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) 증착 설비 정비 기록 내용은 향후 유지보수 활동과 반복되는 잠재적 문제를 파악하는 데 도움이 되도록 한다.

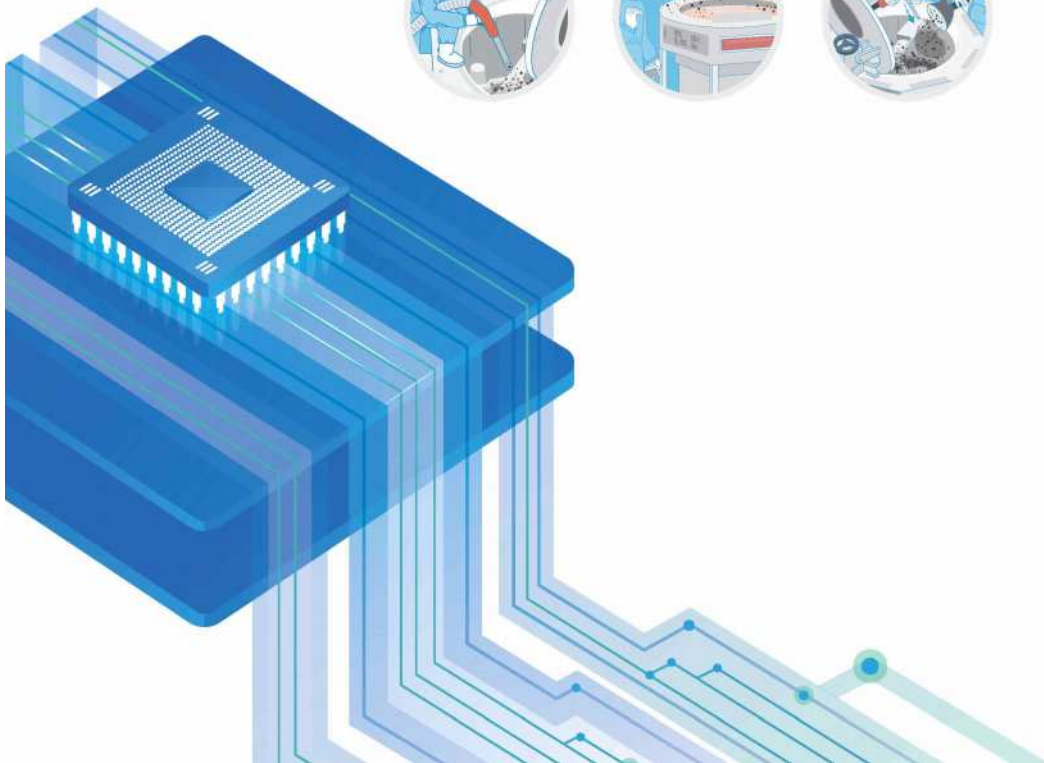
2023-산업안전보건연구원-720



고용노동부

산업안전보건공단
산업안전보건연구원

전자산업 공정 설비 정비작업 안전보건 가이드



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 잠그고(Lock out), 표시(Tag out)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 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. 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 적정한 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 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	해당없음
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?			

점검 항목	예	아니오	해당없음
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 저장 장치를 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 OLED

에 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 심

각성과 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. 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 “안전작업허가지침(P-94-2021)”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-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 Chuck이 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)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) 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 산재 사고 사례 참조).

정비 작업 중 가스 등 화학물질 유입

사고 재해자는 전자산업 ** 공정 ** 챔버 안에서 정비 작업 중 원인이 밝혀지지 않은 질소 유입으로 질식사하여 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.

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)

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: 밀폐공간³⁾ 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.

3) 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 안전 조치를 취해야 한다.

- 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.
- (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, 방작판 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(그림1 참조).



[그림 1] 공정 설비 발판 위 작업 중 또는 후에 넘어짐

(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 헹구고 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 흡 후드 아래에서 작업한다.

- 불산(HF): 유리 및 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 비상조치 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 요인으로부

터 자신을 보호하기 위해 유해·위험 요인이 무엇인지에 따라 장갑, 보안경, 호흡보호구, 보호복, 안전화 등 적합한 개인보호장비를 착용한다(아래 산재 사고 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, 에어컨, 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 Guide “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(그림2 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(그림2 참조)(아래 산재사고 사례 참조).



챔버 등 충분히 퍼지하지 않은 상태에서 정비 작업 중 질식

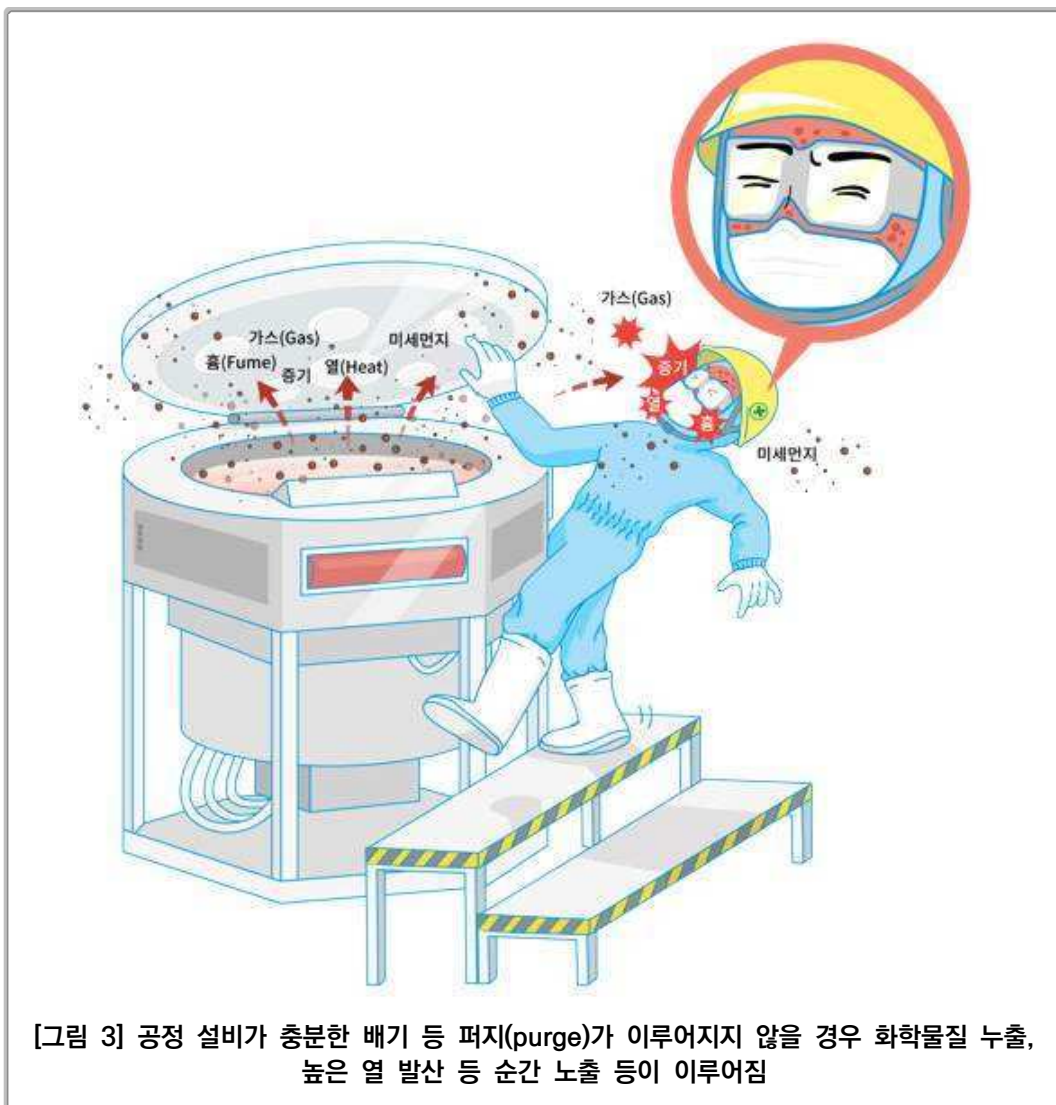
사고 재해자는 전자산업 ** 공정 설비 기계 유지보수 정비를 수행함. 공정 설비 챔버 안 자동화 로봇의 사전점검을 위해 진입 중 남아 있던 질소에 질식하여 사망함. 정비 작업을 시작하기 전 챔버 등 정비 공간 내에 남아 있는 화학물질, 열 등을 완전히 제거해야 함.

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 적

절한 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(그림3 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

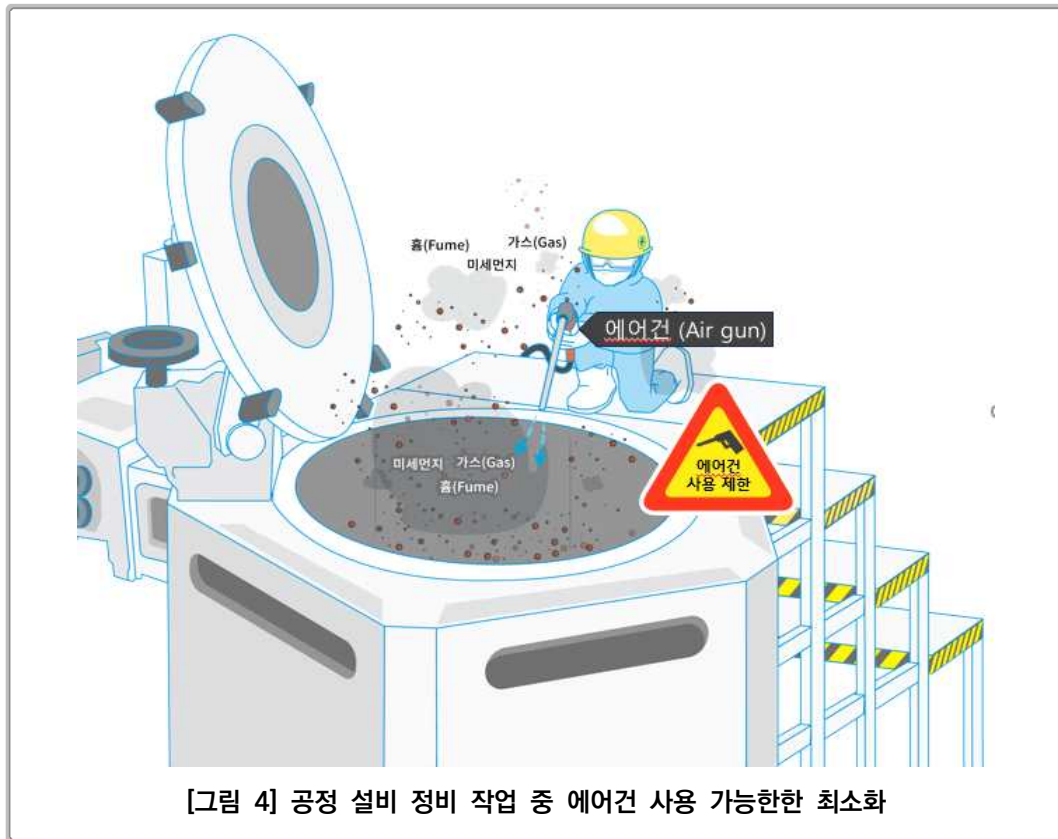
- (1) 챔버, 탱크, 배관 등 정비 대상 설비 뚜껑, 커버 등을 떼 후 설비 내부와 주변을 안전하게 정비한다. 정비 대상 기계, 부품, 뚜껑(cover, 커버) 등⁴⁾이 무겁고 커서 크레인, 리프트 등을 이용하여 작업할 때는 기계별 안전작업절차를 지킨다.
- (2) 필요한 경우 설비 내부로 들어가서 정비 작업을 수행한다⁵⁾. 정비 대상 설비 내부와 주변을 클리닝한다. 진공청소기, 브러시, 헝겊, 화학물질(IPA, 아세톤, 증류수) 등을 사용하여 설비 내부의 이물질, 먼지, 입자 등 잔여물을 철저히 제거한다. 설비를 세척하고 정비하는 데 사용되는 모든 화학물질은 규정에 따라 취급하며, 안전사고와 인체 노출을 방지하기 위해 적절한 예방조치를 한다.
- (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 스크리버로 연결하며, 만약 어려울 경우 공기정화장치를 붙인다.

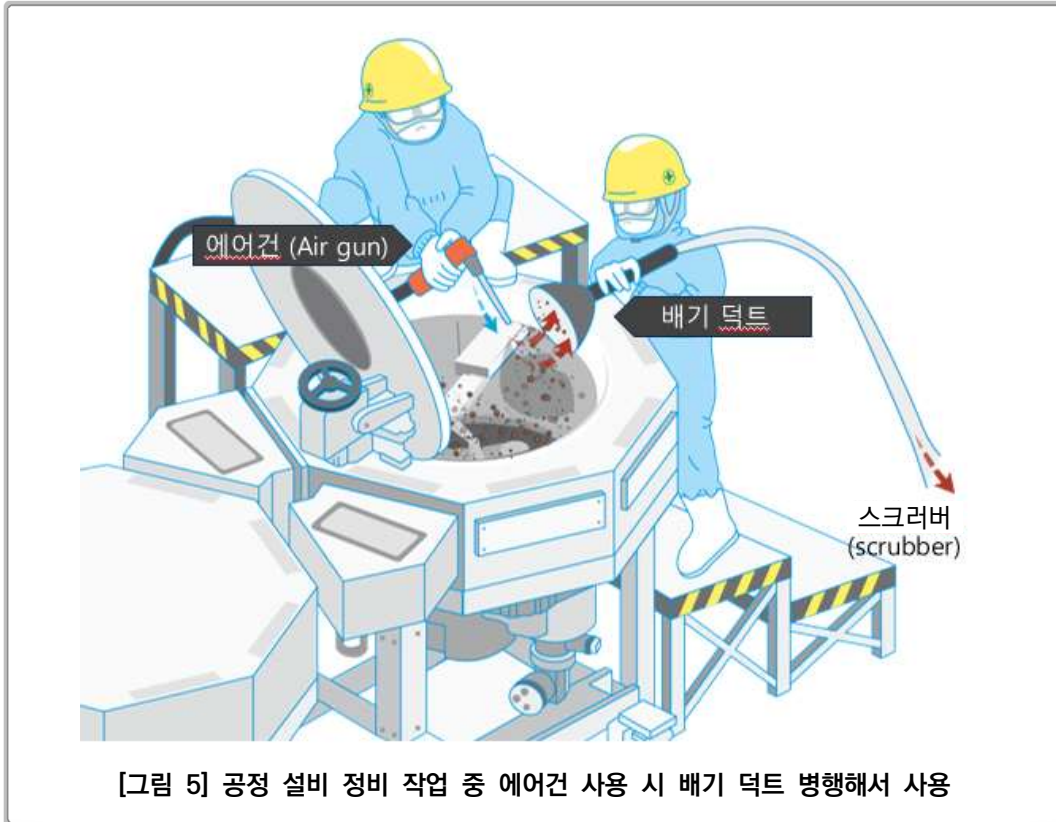
4) 업종, 공정 등에 따라 다양한 용어들이 쓰인다.

5) 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.

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(그림4, 5 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).





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

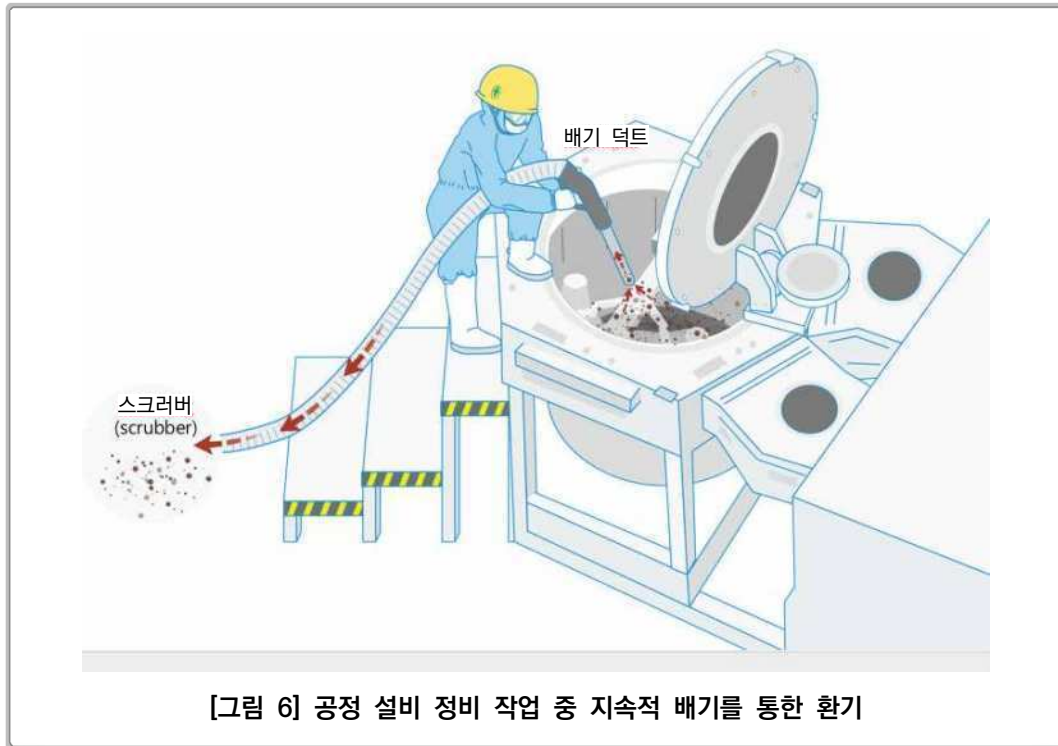
- (5) 정비 작업을 할 때 수동으로 중량물을 제거, 교체하면서 불안정한 자세로 반복적인 정비 작업을 할 경우가 많으므로, 근골격에 부담이 적은 작업 절차를 따른다(아래 산재사고 사례 참조).

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(그림6 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.



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, 부식되

지 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 KOSHA Guide “가동 전 안전점검에 관한 기술지침(P-97-2012)”에 따른다.

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 Guide “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 Guide “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 보존

- (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 파악하는데 도움이 되도록 한다.

2023-산업안전보건연구원-720

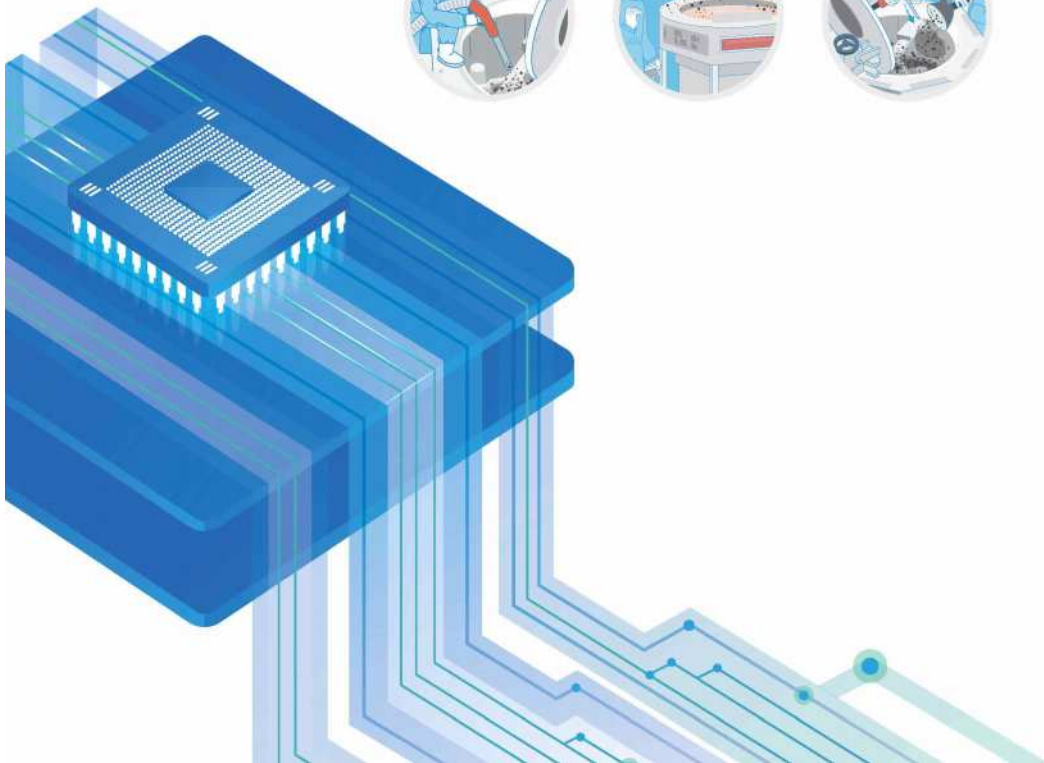


고용노동부



산업안전보건공단
산업안전보건연구원

전자산업 일반 세정작업 안전보건 가이드



전자산업 일반 세정 작업 안전보건 가이드

요 약

전자산업 공정에서 쓰인 장비, 기계 부품 등을 세정하는 작업 중에는 산, 알칼리, 유기용제 등 각종 화학물질과 연마재 등에 노출될 수 있다. 화학물질 누출, 폭발, 질식, 부상 등 잠재적 사고 위험도 있다. 세정 작업을 안전하게 마치려면 아래와 같은 주요 작업 절차를 따른다. 본 안전보건 가이드를 바탕으로 세정 기술과 작업 방법 등에 따른 구체적인 조치 사항을 반영하여 사용할 것을 권장한다.

1. 세정 작업 전 안전보건 조치 사항

- 회사의 규정에 따라 세정 작업 허가를 받는다.
- 세정 작업공간을 주변과 격리하고, 작업 구역을 표시한다. 필요한 경우 출입을 제한한다.
- 세정 작업 시 발생할 수 있는 유해·위험 요인을 확인하고 관리할 수 있는 안전보건 조치를 취한다.
- 세정 작업 시 사용하는 안전보건 시설(세척·세안 설비, 배기 장치 등)과 개인보호장비의 성능을 점검한다.
- 세정 작업에서 사용하는 장비, 기계, 도구 등의 성능이 최적인지 확인한다.
- 세정 작업을 안전하게 수행하기 위한 내용을 훈련받고, 사고 발생 시 취해야 할 비상조치 사항을 확인하고 이해한다. 정비팀원 간 안전한 작업 요령 등도 확인한다.
- 세정 작업에 필요한 개인보호장비를 착용한다. 연마 기술에 따라 적절한 호흡보호구 등을 착용한다. 연마 블라스팅 작업에서 사용하는 송기 마스크는 공기질(Air Quality)이 “D”(대기 산소와 같은 수준)를 유지하도록 한다.

2. 세정 작업 중 안전보건 조치 사항

- 세정 작업을 모니터링하고 비상시 조치를 취할 수 있도록 작업공간 근처에 동료 근로자나 감독자를 배치한다.
- 세정 작업자는 세정 작업 중 안전사고 위험, 신체 이상, 장비 성능 저하 등 비상 상황이 발생할 경우 세정 작업을 감독하는 근로자와 연락해서 신속하게 조치를 취하도록 한다.

3. 세정 작업 후 안전보건 조치 사항

- 세정 작업을 마친 후, 보호구를 착용한 채 작업공간을 깨끗하게 청소한다. 세정 작업 후 생긴 폐기물은 특성에 따라 적절히 분류해서 보관한 후 신속하게 처리한다.
- 세정 작업을 마치고 안전 점검을 마친 후, 세정 작업 이력 카드에 수행한 작업 종류, 작업 날짜, 작업 근로자, 발생한 문제 등의 주요 세정 작업 내역을 기록하고 보존한다.

4. 세정 작업 주요 안전보건 점검 리스트

1) 세정 작업 전 안전보건 점검 사항

점검 항목	예	아니오	해당 없음
회사 규정에 따라 세정 작업을 위한 안전작업허가서를 받았는가?			
세정 작업 내용을 구체적으로 지시받고, 그 내용을 알고 있는가? 또한 정비팀원들 간의 안전한 작업 요령을 확인했는가?			
세정 작업에 필요한 작업 절차서 등을 검토했는가?			

점검 항목	예	아니오	해당 없음
관계 부서와 안전한 세정 작업에 필요한 조치를 취했는가?			
세정 작업 구역을 설정하고 접근 제한 조치를 취했는가?			
세정 작업에서 발생하는 핵심 안전보건 유해·위험 요인을 확인했으며, 사고 영향 범위를 알고 있는가(주요 유해·위험 물질 위험성평가 실시)?			
세정에 필요한 장비와 도구 등을 챙기고 성능을 확인했는가?			
배기 장치, 세척·세안 설비, 보호구 등의 작동 성능을 확인했는가?			
세정 작업 동안 비상사태 발생 시 연락을 취할 동료 근로자 또는 감독자를 근처에 배치했는가?			
비상사태 발생 시 조치 사항 등 핵심 안전보건 교육을 받았는가?			
호흡보호구 등 세정 작업에 필요한 개인보호장비를 착용했는가?			
연마 블라스팅에서 사용하는 송기 마스크는 공기질 “D”(대기 산소와 같은 수준)의 공기가 공급되는지 확인했는가?			

추가적인 유해·위험 요인이 있다면 여기에 기록해 주세요.

추가적인 유해·위험 요인은 제거되었는가?			
------------------------	--	--	--

2) 세정 작업 후 안전보건 조치 사항 점검

점검 항목	예	아니오	해당 없음
보호구를 착용하고, 폐기물을 안전하게 수거하고 처리했는가?			

점검 항목	예	아니오	해당 없음
수거한 폐기물을 특성과 성질에 따라 적절하게 분리했는가?			
폐기물을 보관하는 장소는 적절한 환기 등 안전한 보관 기준을 유지하고 있는가?			
회사가 정한 규정과 양식에 따라 주요 세정 작업 내역을 기록했는가?			
안전한 세정 작업을 위해 추가로 기록해야 할 사항이 있다면 써 주세요.			

1 목 적

- (1) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정에서 사용된 금속과 비금속 부품, 기계, 장비의 오염물질을 제거하여 이들의 본래 공정 기능을 유지하는 세정 작업에 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 공정에서 사용된 금속과 비금속 부품, 기계, 장비를 세정할 때 일반적인 유해·위험 요인 때문에 일어날 수 있는 위험을 관리하는 데 적용한다.
- (2) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 설비를 정비하는 작업에서 세정 작업을 하는 데는 직접적으로 적용하지 않는다.
- (3) 다른 산업의 공정에서 사용된 금속과 비금속 부품, 기계, 장비를 세정할 때 일반적인 유해·위험 요인으로 인한 위험을 관리하는 데 응용할 수 있다.

3 용어의 정의

- (1) 본 가이드에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.
 - 세정(Cleaning): 전자산업 등 제조공정에서 사용한 금속과 비금속 장비, 기계, 부품, 도구 등에 묻은 먼지, 이물질 등의 오염물질을 제거하는 작업을 말한다. 공정에서 최적의 작동을 보장하고 장비의 수명을 연장하기 위한 작업이

다. 건조(드라이), 습식, 초음파, 행굼, 윤활 등 다양한 방법이 있다. 구체적인 기술로는 유기용제 탈지, 산과 알칼리 세정, 연마 블라스팅 등이 있다.

- 탈지(Degreasing): 전자산업 등 제조공정에서 사용한 금속과 비금속 장비, 기계, 부품, 도구 등의 표면에서 그리스, 오일, 기타 유사한 물질을 제거하는 과정을 말한다. 기계의 최적 작동을 보장하고, 도장이나 코팅 공정에서 접착력을 개선하며, 장비 고장으로 이어질 수 있는 오염이나 축적을 방지하므로 매우 중요하다.
- 블라스팅(Blasting): 압축공기나 원심 휠을 사용하여 각종 연마재를 세정 대상 표면에 쏘는 작업을 말한다. 표면의 침전물을 제거하거나 균일한 질감을 만들어 소재를 청소하거나 마감하는 데 사용된다. 표면을 손상시키지 않으며, 기본 재료에 손상을 주지 않고 페인트, 녹, 스케일 등을 제거할 수 있다. 금속과 비금속 제조, 부품이나 표면 세정 및 준비와 같은 산업, 공정, 정비 등에서 자주 사용된다. 연마(Abrasive) 블라스팅과 비드(Bead) 블라스팅이 주로 활용된다.
- 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 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.
- 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 최저 농도를 나타내며, 그 이하에서는 폭발이 일어나지 않는다. 폭발상한은 공기 중 폭발성가스나 증기의 최고 농도를 나타내며, 이 농도가 너무 높으면 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.
- 송기 마스크(Air-Line Respirator): 오염되지 않은 공기 공급원에 연결된 긴 호스를 통해 깨끗한 공기를 공급하는 호흡보호구를 말한다. 일반적으로 산업 환경, 소방 시나리오, 특정 유형의 수중 다이빙과 같이 유해 물질이 있거나 산소가 부족한 환경에서 사용된다. 호스의 길이와 기동성에 따라 사용자의 움직임이 제한될 수 있다. 사용자가 많이 움직여야 하는 상황이나 호스의 테더링으로 인해 물리적 장애물이 많은 환경에는 적합하지 않다.
- SCBA(Self-Contained Breathing Apparatus, 자가 공기 호흡 장치): 일반적으로 사용자의 등에 고압 탱크를 메는 형태의 자체 공기 공급 장치를 말한다. 공기 공급량은 한정되어 있다. 사용자는 호스에 묶여 있지 않기 때문에 이동성이 뛰어나고, 다양한 환경에서 자유롭게 움직일 수 있다. 고압 탱크의 무게로 인해 착용하기가 더 무겁다.

(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 세정 작업 전 조치 사항

- (1) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업의 공정에서 사용된 금속과 비금속 부품, 기계, 장비 세정 작업을 시작하기 전에 안전하고 효과적인 세정을 위해 다음과 같은 주요 조치를 취한다.

5.1 위험성평가 실행

- (1) 세정 작업에서 일반적으로 발생할 수 있는 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) 화학물질 누출에 따른 위험: 세정 화학물질을 사용한 공정 중에, 또는 화학물질 저장 탱크에서 화학물질 누출 위험이 있다. 또한 탈지 세정 화학물질 가스·증기에 의한 화재와 폭발 등의 잠재적 위험도 있다.
- (라) 화학물질 인체 노출 위험: 세정 작업 중 노출 시 피부와 눈 자극, 호흡기 질환 등 질병 발생 위험이 있는 연마재, 비드 등의 입자상 물질과 산, 알칼리, 유기용제 등 가스상 물질에 노출될 수 있다. 세정 기술에 따라 유해·위험 요인 종류, 발생 특성은 다르다.
- (마) 인체공학적 위험: 세정 장비, 세정 부품 등을 다루거나 옮기는 작업 등에서 반복적인 동작을 하고 불편한 자세로 작업하는 경우 발생할 수 있는 근골격계질환과 부상 등
- (바) 밀폐공간 관련 위험: 블라스팅 등 세정 기술에 따라 잠재적 밀폐공간 위험이 있다¹⁾. 블라스팅 챔버는 밀폐공간으로, 산소부족이나 유해 물질 중독

1) 세정 기술, 세정 대상 제품 규격, 블라스팅 챔버의 크기, 형태 등에 따라 밀폐 형태와 크기는 다양하다. 챔버 밀폐 정도와 세정 작업 방법 등에 따라 적절한 안전조치를 취해야 한다.

이 일어날 수 있는 환경이다.

(사) 넘어짐 위험: 세정 작업 중 물, 화학물질, 연마재 등으로 인해 넘어질 위험이 있다.

(2) 세정 공정 기술에 따른 화학물질, 블라스팅 연마재 등 공정이나 작업별 장비, 사용하는 화학물질, 발생하는 오염물질의 건강위험과 환경 위해 요인을 평가한다.

(3) 세정 방법과 종류에 따라 발생할 수 있는 유해·위험 요인으로 인한 건강과 환경 위험을 최소한으로 관리하기 위해 적절한 안전조치를 결정한다.

5.2 제조업체와 원청 지침 검토

(1) 세정해야 할 특정 금속과 비금속 부품, 기계, 장비에 대한 제조업체와 원청의 지침, 사용 설명서를 참조한다.

(2) 제조업체와 원청에서 권장하거나 요구하는 세정 방법과 기술, 주의 사항, 제한 사항을 이해하고 따른다.

5.3 세정에 필요한 정보 수집

(1) 오일, 그리스, 잔여물, 유해 물질 등 금속과 비금속 부품이나 장비에 존재하고 세정을 통해 제거해야 하는 오염물질 유형에 대한 정보를 수집한다. 이 정보는 가장 적합한 세정제와 세정 방법을 결정하는 데 필요하다.

(2) 안전한 세정 작업을 위한 안전보건 지침 등을 확보하여 작업 전에 관련자에게 충분한 교육·훈련하고, 관련 기록을 보존한다.

5.4 적절한 세정 기술 선택

- (1) 세정 대상 기계, 부품에 오염된 물질에 따라 적절한 세정 기술, 세정제 등을 선택한다.
- (2) 금속과 비금속 부품과의 호환성 및 특정 오염물질 제거 효과를 고려한다.

5.5 물질안전보건자료(MSDS) 확보

- (1) 선택한 세정제나 화학물질에 대한 물질안전보건자료(Material Safety and Data Sheets. MSDS)를 확보한다. MSDS는 유해성, 권장 개인보호장비, 취급 시 주의 사항, 비상 대응 절차 등 중요한 안전 정보를 제공한다.
- (2) 근로자와 관련 담당자는 MSDS의 내용을 숙지하고 활용하여 안전한 작업이 되도록 한다. 기타 자세한 사항은 KOSHA Guide “물질안전보건자료 작성 지침(W-15-2020)”, “물질안전보건자료 교육 실시에 관한 지침(H-15-2021)”에 관한 지침 등을 참조한다.

5.6 안전보건 시설 등 성능 확인

- (1) 세정 과정에서 발생하는 공기 중 가스, 증기, 입자를 배기하고 제어할 수 있도록 세정 공정별로 적절한 환기장치 정상 작동과 성능
- (2) 세척·세안 설비 위치와 작동 여부
- (3) 개인보호장비 규격과 성능
- (4) 세정 화학물질을 사용하거나 저장하는 탱크, 용기 등의 누출, 누수 여부와 같은 보관 상태
- (5) 세정 작업에서 생기는 폐화학물질을 담은 폐기물 용기, 청소 재료 준비 여부

5.7 세정 장비 조립과 점검

- (1) 세정에서 사용될 모든 기구, 장비, 도구(압축 분무기, 용기, 세정용 천, 화학 물질 등)를 준비한다.
- (2) 누수, 부품 손상, 전기 연결 결함 확인을 포함하여 기구, 장비, 도구가 제대로 작동하는지 사전에 검사한다.

5.8 적절한 개인보호장비 착용

- (1) 근로자는 세정 작업을 시작하기 전에 각종 안전사고와 질병 위험 요인으로부터 자신을 보호하기 위해 유해·위험 요인이 무엇인지에 따라 장갑, 보안경, 호흡보호구(방독마스크, 송기 마스크 등), 보호복, 장화, 귀마개 등 적합한 개인보호장비를 착용한다. 호흡보호구 중 산, 알칼리, 유기용제 세정 또는 탈지 작업을 할 경우 방독마스크를 사용한다. 개인보호장비는 화학물질 내성이어야 한다.
- (2) 유해 물질 농도가 매우 높은 제한된 공간에서 블라스팅 세정 작업을 수행하는 경우, 외부에서 공기를 공급하는 송기 마스크를 착용한다(그림1, 2 참조).



- (3) 유해 화학물질을 취급하는 경우, 작업 중에 노출되는 가스나 증기의 농도를 알 수 없는 경우, 물질안전보건자료 등에서 규정한 방독마스크 착용 농도를 초과할 가능성이 있는 경우에는 공기호흡기 또는 송기 마스크를 착용한다. 송기 마스크는 공급되는 공기질이 “D”(대기 산소와 같은 수준)를 유지하도록 한다.
- (4) 세정 작업을 수행하는 모든 근로자가 올바른 사용법을 교육받는다.

5.9 격리 조치

- (1) 세정 공정과 작업에서 발생하는 오염물질이나 사용하는 세정제의 확산을 방지하기 위해 일정 공간을 격리할 필요가 있는지 판단하고 조치한다. 여기에는 오염 위험을 최소화하기 위한 차단벽 설치, 차단 트레이 사용, 적절한 작업장 준비 등이 포함된다.
- (2) 특히 블라스팅 작업공간은 외부로 연마재 등 먼지가 나가지 않도록 격리하고, 적절한 배기 장치 등의 공학적 격리 조치를 취하며, 공간 안의 압력은 음압으로 유지하는 것이 좋다. 비상 상황 발생 시 신속한 조치를 취하기 위해 블라스팅 챔버 근처에 동료 근로자나 감독자를 배치한다(그림3 참조).



[그림 3] 연마 블라스팅 작업공간 분리 챔버 사례

5.10 안전보건 교육

- (1) 세정 과정에 참여하는 근로자에게 관련 법규에서 규정한 안전보건 교육을 사전에 실시하여 이들이 위험을 정확히 인식하고 안전하게 작업하도록 한다.
- (2) 세정 근로자는 작업할 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) 비상 대피 전 안전조치를 취해야 할 주요 공정 설비 및 절차
 - (마) 비상 대피 후 수행해야 하는 행동과 절차

- (바) 구조 또는 의료 업무를 맡은 근로자의 지시에 따라야 하는 절차
 - (사) 유해 물질이 눈, 피부 등에 닿았을 때는 즉시 세척 설비로 세정하고, 의사의 처치를 받는다.
- (3) 세정 작업 감독자는 사고가 발생할 경우 적절한 호흡보호구를 착용하고 구조 작업을 하며, 비상 연락망을 가동하여 신속하게 119 구조대에 신고한다(아래 산업재해 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 주요 세정 작업별 일반적인 안전보건 조치

6.1 산과 알칼리를 이용한 화학적 세정

- (1) 세정제 화학물질과 관련된 위험성을 이해하고, 적절한 취급 절차를 따른다.
- (2) 세정제 화학물질은 환기가 잘 되는 곳에 보관한다. 또한 서로 다른 물질끼리 접촉하면 해당 물질이 발화하거나 폭발할 위험이 있는 경우에는 해당 물질을 가까이 저장하거나 같은 운반기에 싣는 것을 금지하고, 가연성물질은 점화원으로부터 떨어진 곳에 적절히 보관한다.

(3) 화학물질로 세정 작업할 때 장갑, 보안경, 호흡보호구, 보호복 등 적절한 개인보호장비를 사용한다. 사용하는 화학물질의 종류, 자동과 수동 등 세정 방법, 작업공간 등을 종합적으로 고려하여 구체적인 개인보호장비의 종류를 결정한다.

- 보안경: 화학물질이 눈에 튀지 않도록 눈을 보호하는 장비로, 화학물질을 다루는 작업에 있어 필수적이다. 눈 주변을 완전히 감싸고 김 서림 방지 기능이 있어 선명한 시야를 유지할 수 있는 것을 사용한다.
- 안면 보호대: 보안경과 함께 착용하여 화학물질이 튀는 것을 방지한다.
- 전면용 방독마스크(Full Face Air Purifying Respirator): 탱크에서 세정 부품을 수동으로 취급할 때 반드시 사용한다. 또는 이에 준하는 장비를 사용한다.
- 보호복: 공업용 긴팔 셔츠, 긴바지 또는 작업복, 발가락이 닫힌 신발이나 부츠를 착용한다. 산과 염기와 같이 부식성이 강한 화학물질을 다룰 때는 내화학성 의류를 입는 것이 좋다.
- 장갑: 내화학성이 있으며, 취급하는 화학물질의 종류에 적합한 것을 선택한다. 재질(예: 라텍스, 니트릴, 네오프렌)은 내화학성 가이드에 따라 선택한다. 잘 맞는 것을 착용하며, 마모나 손상 징후가 있는지 정기적으로 점검한다.
- 강산, 강염기 등 용액, 미스트 등에 노출되지 않도록 내화학성 앞치마, 내화학성 신발 등을 착용한다.

(4) 적절한 국소 배기와 전체환기를 통해 가스, 증기, 흠, 미스트 등을 제어하고 최소화한다.

(5) 세정제 화학물질의 희석 비율, 도포 방법, 접촉 시간에 대한 회사 안전보건 지침을 준수하여 위험을 최소화하면서 효과적으로 세정한다.

(6) 세정 장비와 탱크 등이 적절한 작동 상태에 있는지 정기적으로 점검하고 유

지관리 한다. 위험할 수 있는 누출, 호스 손상, 부품 마모 등이 있는지 정기적으로 확인한다.

6.2 증기 탈지 세정

- (1) 작업 시 발생하는 가스, 증기, 흙, 미스트 등을 제어하기 위해 적절한 국소 배기와 전체환기를 한다.
- (2) 세정 장비의 온도와 압력 설정 등은 안전한 사용을 위한 제조업체 지침을 준수한다.
- (3) 용제를 취급하거나 증기 세정 환경에서 작업할 때는 장갑, 보안경, 방독마스크 등 적절한 개인보호장비를 사용한다. 사용하는 화학물질의 종류, 세정 방법, 작업공간 등을 종합적으로 고려하여 구체적인 개인보호장비의 종류를 결정한다. 방독마스크와 카트리지의 선택은 사용하는 화학물질에 따라 달라진다.
- (4) 탈지 장비와 탱크 등이 적절한 작동 상태에 있는지 정기적으로 점검하고 유지관리 한다. 위험할 수 있는 누출, 호스 손상, 부품 마모 등이 있는지 정기적으로 확인한다.

6.3 연마 블라스팅

- (1) 작업을 위해 지정된 구역을 설정하고, 경계를 명확히 표시하며, 권한이 없는 사람의 접근을 제한한다.
- (2) 압축공기, 송풍기, 진공 세정기를 활용해 세정 작업을 할 때는 귀 덮개, 장갑, 보안경, 호흡보호구 등의 개인보호장비를 착용하여 몸 전체를 보호한다. 세정 방법, 작업공간 등을 종합적으로 고려하여 구체적인 개인보호장비의 종류를 결정한다.

- 작업 중에 발생하는 연마재 등 먼지를 흡입할 경우 유해할 수 있다. 그러나 제한된 공간에서 고압을 사용하기 때문에 방진마스크는 호흡기를 보호하는데 한계가 있다. 따라서 근로자는 송기 마스크를 사용한다. 공기압축기에서 D 등급 수준(대기 산소와 같은 수준)의 깨끗한 공기가 공급되도록 조치한다. 이를 위해서 공기압축기는 오일, 디젤을 사용하지 않고 오염물질을 제거할 수 있는 형식으로 한다.
 - 날아오는 파편으로부터 눈을 보호하기 위해 보안경이나 안면 보호대를 착용한다.
 - 분사되는 연마재, 비드 등의 파편으로부터 신체를 보호하기 위해 긴팔 셔츠, 긴 바지, 튼튼한 장갑을 착용한다.
 - 블라스팅은 높은 수준의 소음을 일으킨다. 적절한 귀마개나 귀 덮개를 착용하며, 소음 노출을 최소화하기 위한 조치를 취한다.
- (3) 블라스팅 장비는 한 번에 한 사람만 작동하여 다른 사람의 부상을 방지한다.
- (4) 블라스팅 장비를 정기적으로 유지보수 하여 사고로 이어질 수 있는 오작동을 예방한다. 특히 블라스팅 탱크는 압력용기 검사 대상 여부를 확인하고, 관련 법규를 준수한다.
- (5) 작업 시 먼지나 오염물질이 근처 공정 등 외부로 나가지 않도록 진공 배기 시설을 항상 작동한다.
- (6) 연마재를 취급, 보관, 운반할 때는 안전한 절차를 따른다. 용기에 라벨을 제대로 부착하고 적절하게 보관하여 유출이나 오염을 방지한다.
- (7) 작업공간을 정기적으로 청소하고, 쌓인 이물질이나 흘린 물질을 제거한다. 연마 블라스팅 작업을 마친 후에도 보호구를 꼭 착용한 채 챔버 안을 깨끗하게 청소한다.

7 세정 작업 후 안전보건 조치 사항

7.1 폐기물 및 세정제 폐기

- (1) 관련 법, 회사 규정과 지침에 따라 폐기물, 사용한 세정제, 오염물질을 적절하게 수거·보관하고, 가능한 한 신속하게 폐기한다.
- (2) 세정 작업 후 세정액·연마재 회수와 수거, 오염물질 제거 등의 작업을 수행할 때 반드시 적절한 호흡보호구 등 개인보호장비를 착용하고 작업한다. 블라스팅 등 세정 작업 후에도 당분간 제한된 공간에서는 공기 중 먼지 농도가 높고, 바닥 등에 사고 위험이 있기 때문이다.
- (3) 유해·위험 폐기물은 지정된 용기에 분리하여 보관하고, 유출이나 누출을 방지하기 위해 적절한 라벨을 부착하고 밀폐한다.
- (4) 폐기물의 성분에 따라 적절한 절차를 준수하여 근로자 노출 방지와 환경에 미치는 영향을 최소화한다.
- (5) 세정 후 발생한 폐수, 폐기물 등은 자체 처리, 회수, 위탁 등에 따라 적절한 안전보건 조치를 취한다.

7.2 세정 장비 및 도구 유지관리

- (1) 세정 장비, 도구, 기계가 제대로 작동하고 사고나 오작동이 일어나지 않도록 유지관리 한다.
- (2) 세정 장비는 지정된 장소에 보관한다.

7.3 환기 및 공기질

- (1) 세정을 마친 후 공기 중에 남을 수 있는 가스, 증기, 흠, 미스트 등을 제거하기 위해 일정 시간 동안 국소 배기, 전체환기 등 적절한 환기를 한다.
- (2) 국소 배기, 전체환기 시스템을 정기적으로 점검하고 정비하여 제대로 작동하는지 확인하며, 오염물질이 장치에 쌓이지 않도록 한다.
- (3) 국소 배기, 전체환기 시스템에서 배출되는 물질은 관련 법, 회사 규정과 지침에 따라 적절하게 처리한다.

7.4 개인보호장비 폐기 및 개인위생

- (1) 오염된 개인보호장비는 정해진 프로토콜에 따라 적절히 제거하고 폐기한다.
- (2) 세정 작업을 마친 후 목욕을 하고 옷을 갈아입고 퇴근하는 등 개인위생을 철저히 실천한다.

7.5 검사 및 품질 관리

- (1) 세정을 마친 금속 부품, 기계, 장비에 대한 최종 검사를 클린룸이나 추가 오염을 방지할 수 있는 환경에서 실시하여 원하는 수준으로 세정되었는지 확인한다.
- (2) 잔류 오염, 누락된 부분, 불만족스러운 세정 결과가 있으면 적절한 추가 세정 방법에 따라 해결한다.

8 작업환경측정 및 특수건강진단 실시

- (1) 보건관리자(사업주)는 세정 작업 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, 작업 종류 등에 따라 평가하고, 그 결과에 따라 적절한 노출 저감 대책을 수립한다.
- (2) 보건관리자(사업주)는 세정 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 Guide “건강진단 및 관리지침”을 참조하여 근로자의 질병 예방을 위한 지침으로 활용한다. 세정 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) 사용한 세정 방법, 세정제, 문제 또는 관찰 사항을 포함하여 수행한 세정 활동에 대해 기록하고 보존한다.
- (2) 세정 기록은 향후 세정 작업과 반복되는 잠재적 문제를 파악하는 데 도움이 되도록 한다.

2023-산업안전보건연구원-720

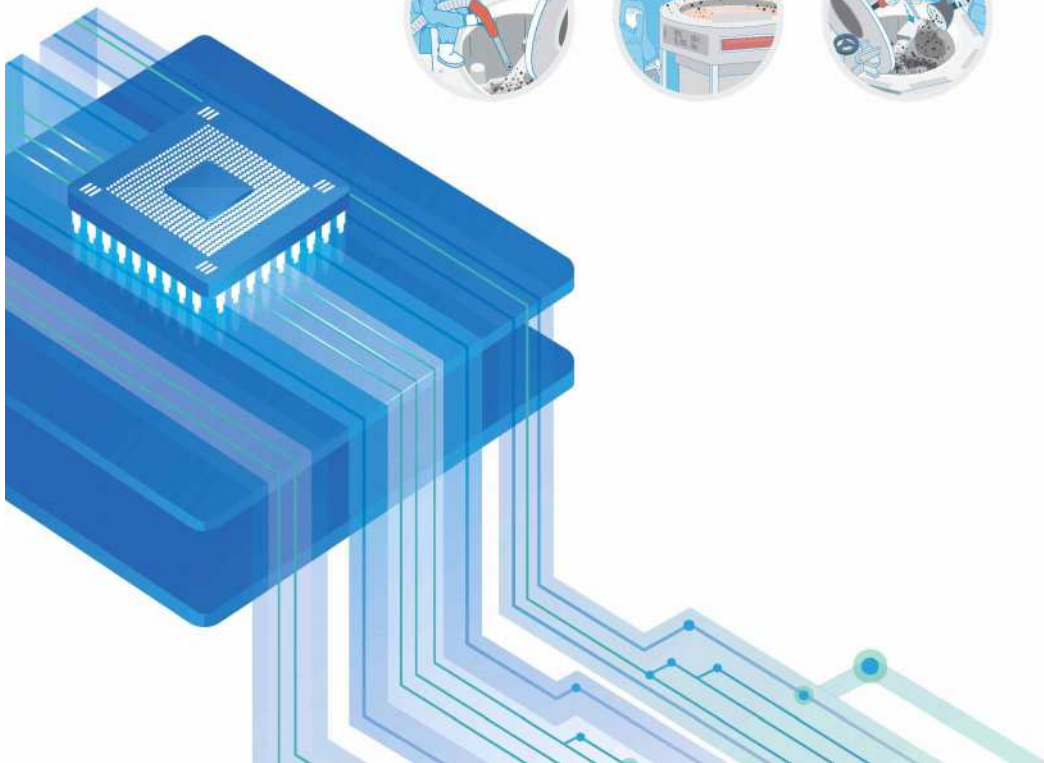


고용노동부

산업안전보건공단

안전보건공단
산업안전보건연구원

전자산업 이온주입공정 설비 정비작업 안전보건 가이드



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, 에어컨 사용은 최소한으로 한다. 에어컨을 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 작업 공간을 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 작

동하고, 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	해당없음
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?			

점검 항목	예	아니오	해당없음
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 스크리버로 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?			

점검 항목	예	아니오	해당없음
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 생산 활동이 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 이온가속기로 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 °C에서 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 안전 보건의 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 허가지침(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-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 Chuck이 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.

- 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)

- 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

- (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

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.

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 근골격계 질환이나 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).



[그림 1] 공정 설비 발판 위 작업 중 또는 후에 넘어짐

(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 만

성 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.
 - (2) 정비 작업 중의 유해·위험 요인과 그 요인들을 줄이기 위해 회사가 정한 조
- 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.

치 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 설비

를 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 비상 조치 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.

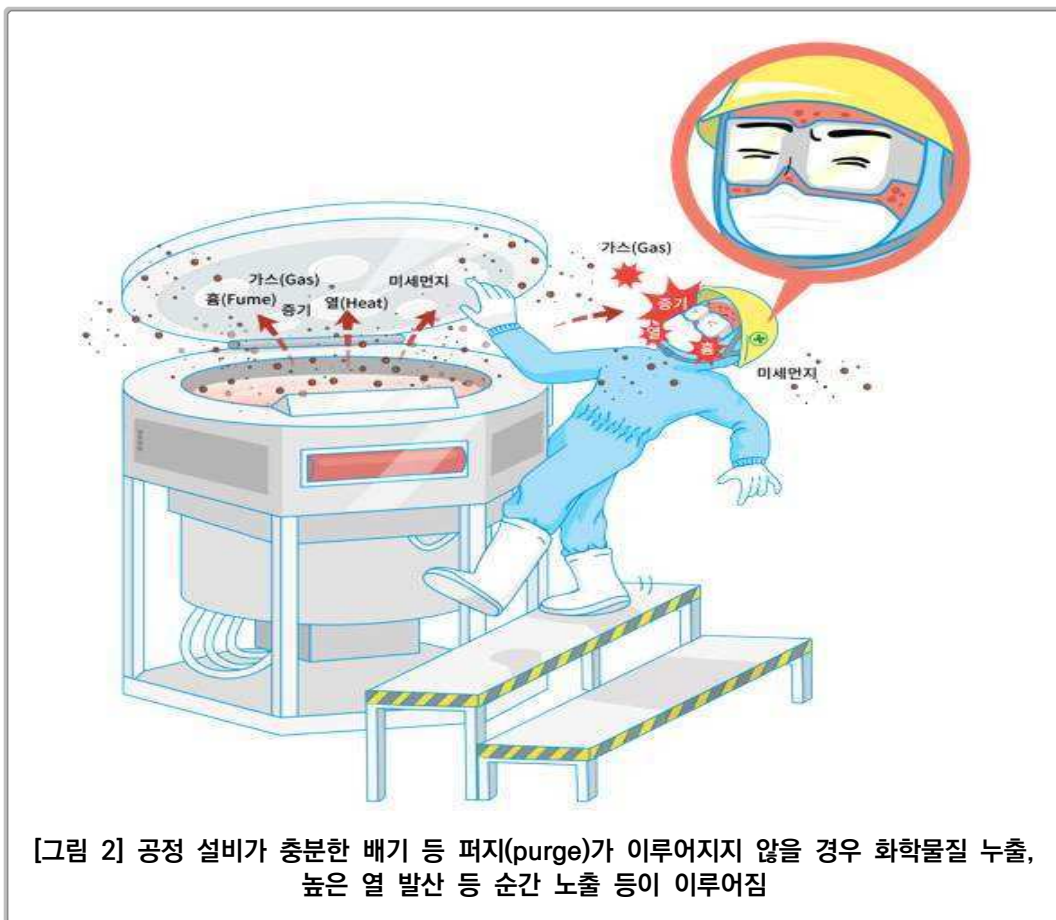
5.2 정비 작업

- (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 온도에 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 퍼

지하여 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 유해물질의 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, 전원공급장치 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 들어간다⁷⁾. 챔버, 설비, 기계 등 안과 주변을 클리닝한다. 이때 진공청소기, 브러시, 형짚, 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).

정비 작업 중 중량물 취급으로 인한 근골격계질환 발생

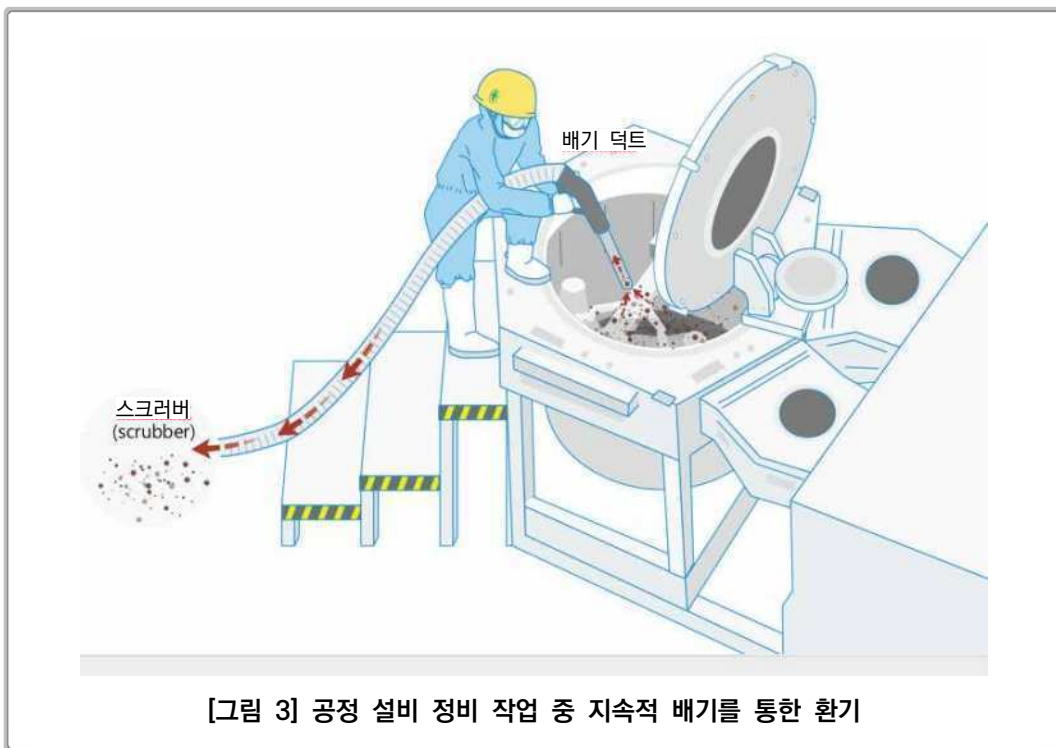
사고 재해자는 전자산업 ** 자동화 기계 셋업 중 약 3톤의 장비 밑에 핸드카를 넣어 살짝 든 다음 앞에서 당기는 과정에서 무리해서 힘을 썼고, 장비 이동 후 지렛대를 사용하

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.

여 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.

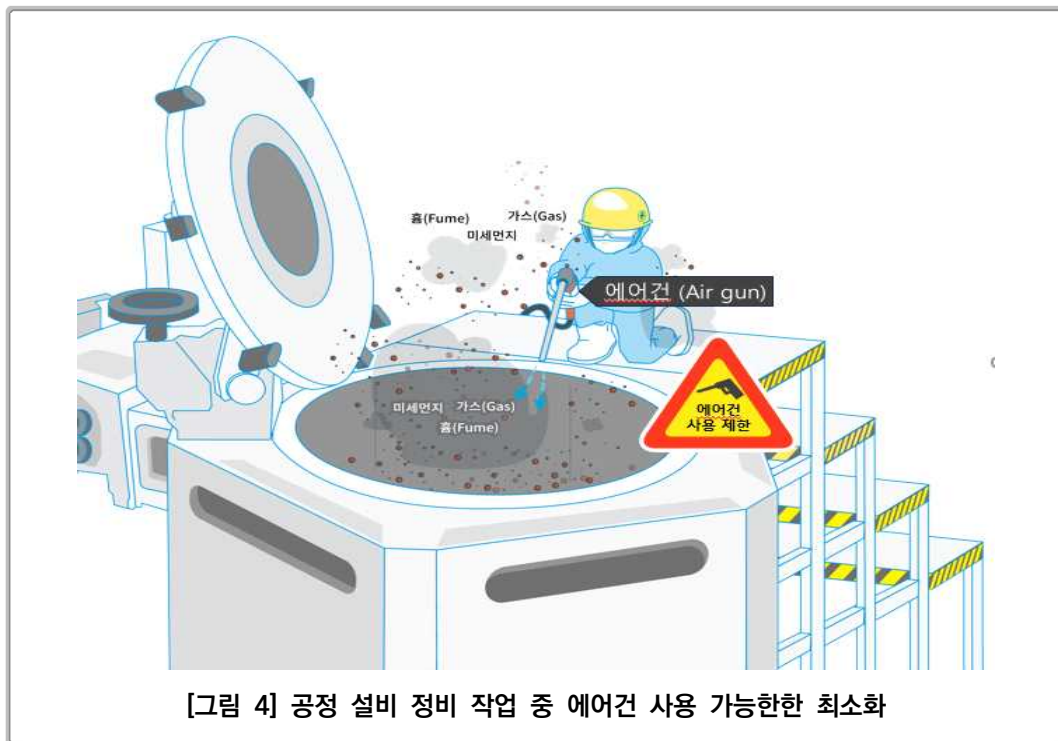
(5) 정비 작업 중 주기적인 환기

(가) 정비 작업 동안 챔버 안에 각종 먼지, 가스, 세정제 등이 쌓이지 않도록 지속적으로 적절한 환기를 한다. 정비 작업 시 비소 등 도편트 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 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. 안전 보호 장비를 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.

2023-산업안전보건연구원-720



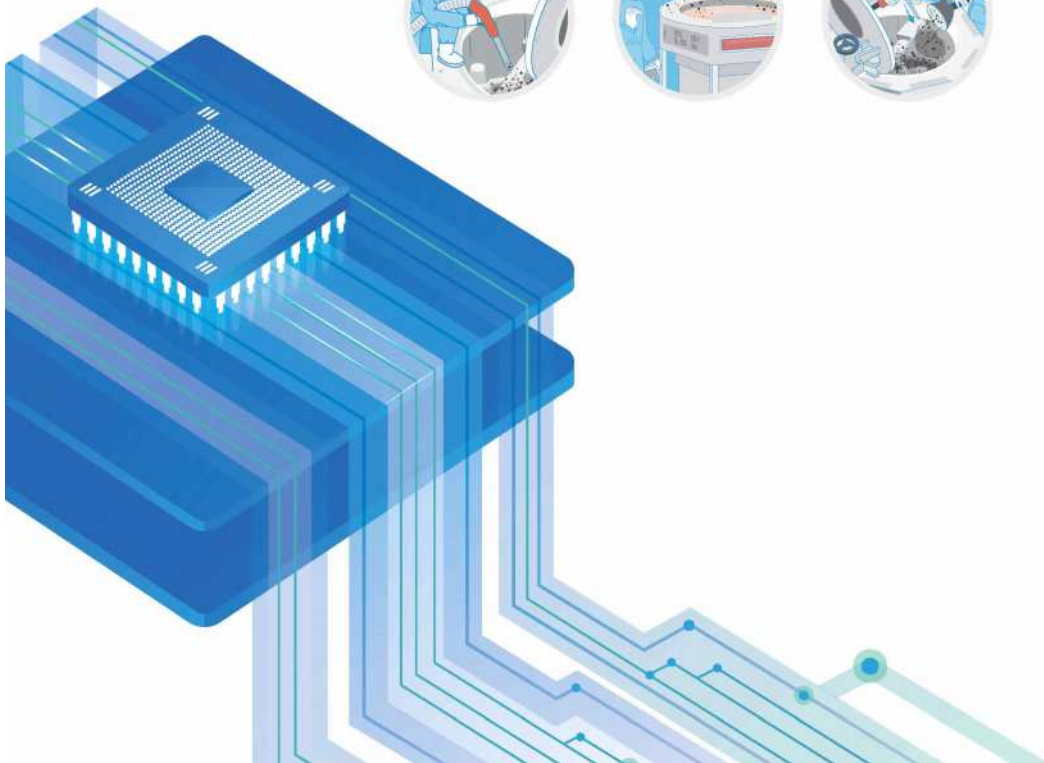
고용노동부

산업안전보건공단

안전보건공단
산업안전보건연구원



전자산업 식각공정 설비 정비작업 안전보건 가이드



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 잠그고(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 해제하고 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 최소 한으로 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	해당없음
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 안전 조치를 했는가?			
핵심 안전보건 유해·위험 요인을 확인했으며, 사고 영향 범위를 알고 있는가(주요 유해·위험 물질 위험성평가 실시)?			
정비 도구 등을 챙기고 성능을 확인했는가?			

점검 항목	예	아니오	해당없음
배기 장치, 세척·세안 설비, 보호구 등의 작동 성능을 확인했는가?			
비상사태 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, 에어진 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

점검항목	예	아니오	해당없음
보호구를 착용하고 폐기물을 안전하게 수거하고 처리했는가?			
정비 작업 도구 등을 치우고, 챔버 설비가 적절한 작동 상태에 있는지 확인했는가?			

점검항목	예	아니오	해당없음
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℃에서 가스 상태인 물질을 말한다. OLED 제조에 사용되는 일부 장비와 공

정에는 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 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. 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 허가지침(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-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 Chuck이 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

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

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 질식사하여 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) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제 630조(불활성기체의 노출)

- (2) 식각 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 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).



(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 화학 반응을 일으킨 물질 등이 남아 있다. 정비 작업 중에 이들 물질에 노출될 위험이 있다.
- 전기적 위험: 유지보수 중에 전기 시스템을 적절히 차단하지 않으면 감전

이나 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 개인 보호장비를 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 비상 조치 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

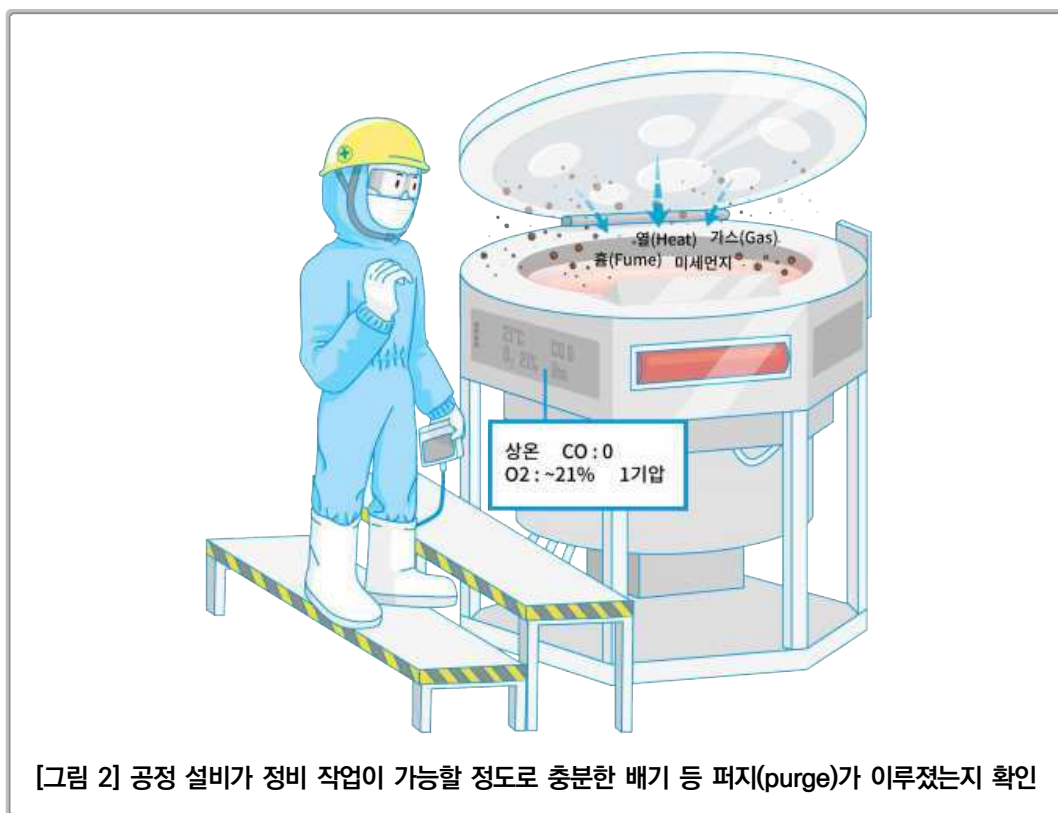
- (가) 건식 식각 설비 정비 작업 시 피부, 눈, 호흡기 등이 가스상 물질과 입자상 물질에 노출될 수 있으므로 보안경, 장갑, 호흡보호구 등을 착용한다.
- (나) 정비 작업을 할 때 입자상 물질이 주로 발생할 경우 고성능필터(HEPA)가 장착된 방진마스크를 착용하고, 세정용 유기용제 등 화학물질을 많이 사용할 경우에는 방독마스크(반면용)를 착용한다.
- (다) 식각 공정 설비 정비 작업을 할 때 노출되는 안전보건 유해·위험 요인에 따라 사용해야 할 보호구는 KOSHA Guide “개인보호구의 사용 및 관리에 관한 기술지침(G-12-2013)”을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

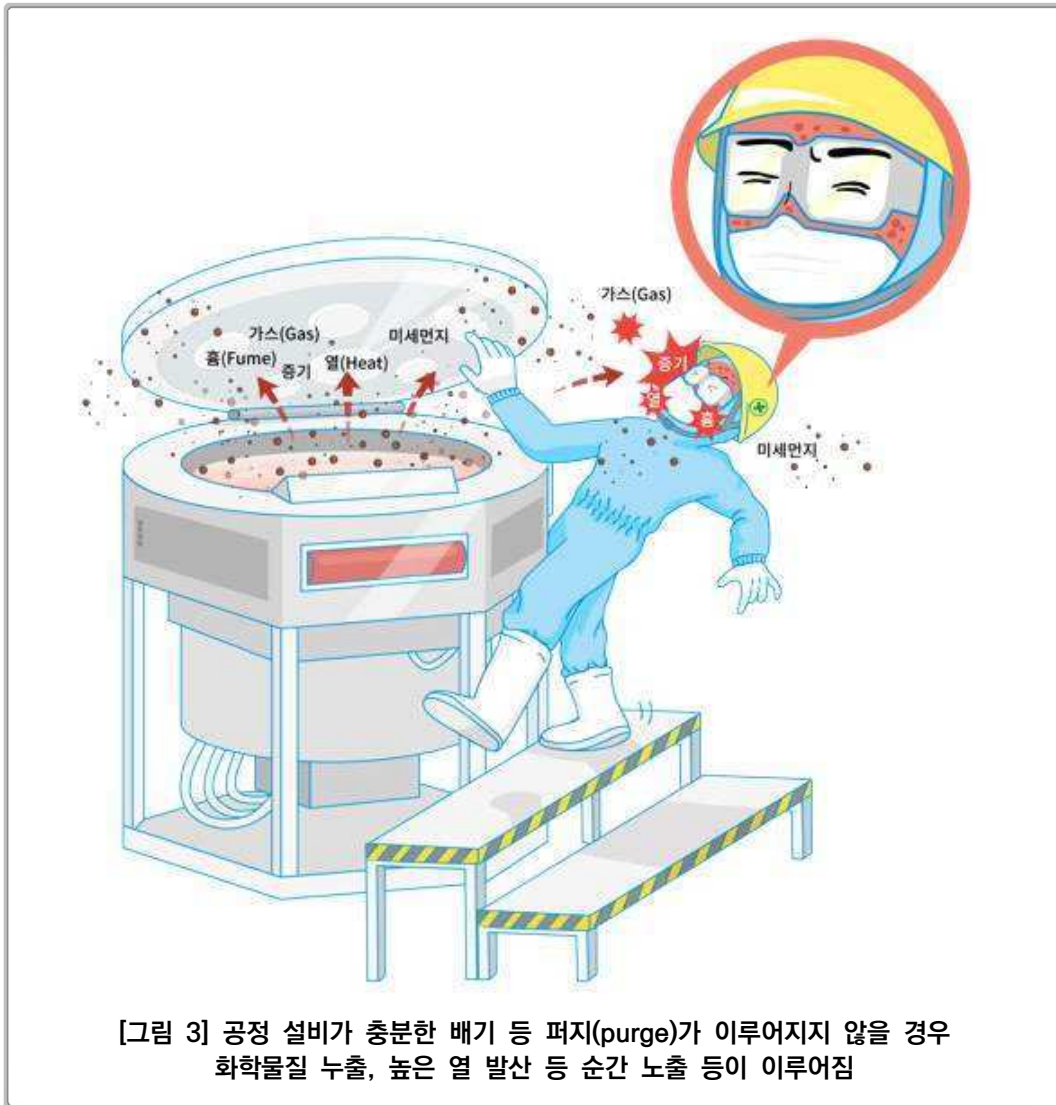
- 챔버를 열기 전 설비 안에 남아 있는 가스상 물질, 입자상 물질, 열 등이 최소 수준까지 배출되도록 한다.
- 챔버 설비 정비 작업 전 질소나 아르곤과 같은 불활성가스로 챔버를 퍼지하여 남아 있는 화학물질, 연기, 열 등을 제거한다(아래 산재사고 사례 참조).

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.



(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, 형궤, 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).

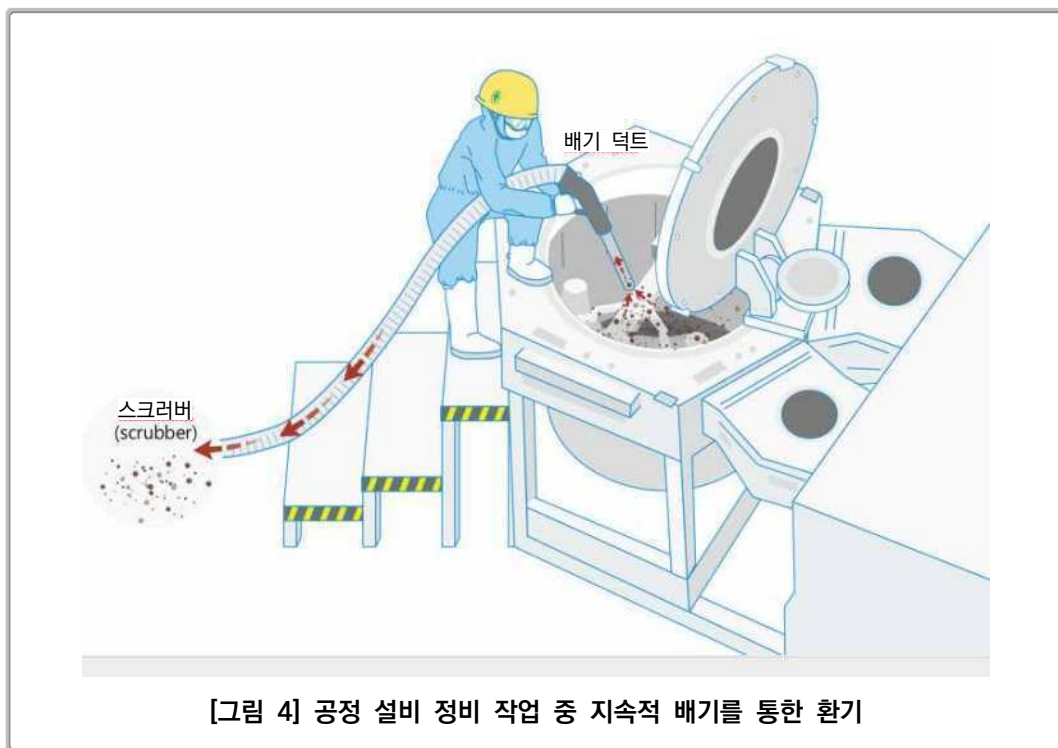
정비 작업 중 중량물 취급으로 인한 근골격계질환 발생

사고 재해자는 전자산업 ** 자동화 기계 셋업 중 약 3톤의 장비 밑에 핸드카를 넣어 살짝 든 다음 앞에서 당기는 과정에서 무리해서 힘을 켜고, 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.

5.3 습식, 건식 식각 설비 정비 작업 중 충분한 환기

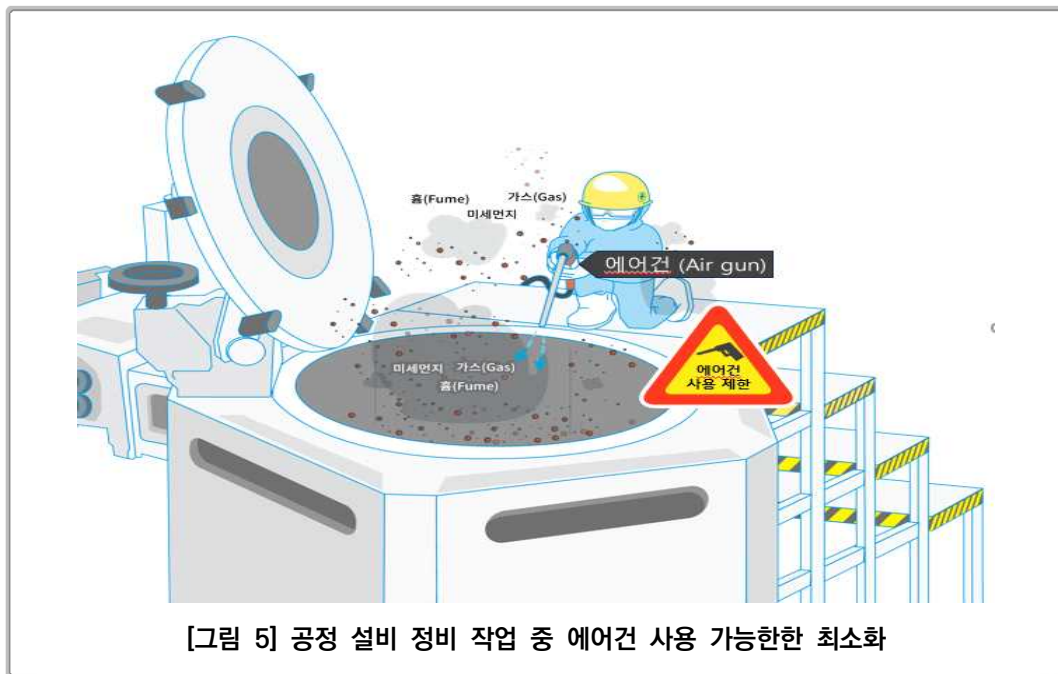
- (1) 정비 작업 동안 챔버, 탱크 등 작업공간 안에 각종 먼지, 가스, 세정제 등이 쌓이지 않도록 지속적으로 적절한 환기를 한다.

- (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 스크러버로 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 5] 공정 설비 정비 작업 중 에어건 사용 가능한 최소화



[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 보호 장비를 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 작동

하고 공정이 원활하게 유지되는지 관련 운전 변수를 점검한다. 최적의 상태 인지 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 점검 KOSHA Guide “가동 전 안전점검에 관한 기술지침(P-97-2012)I”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.

2023-산업안전보건연구원-720

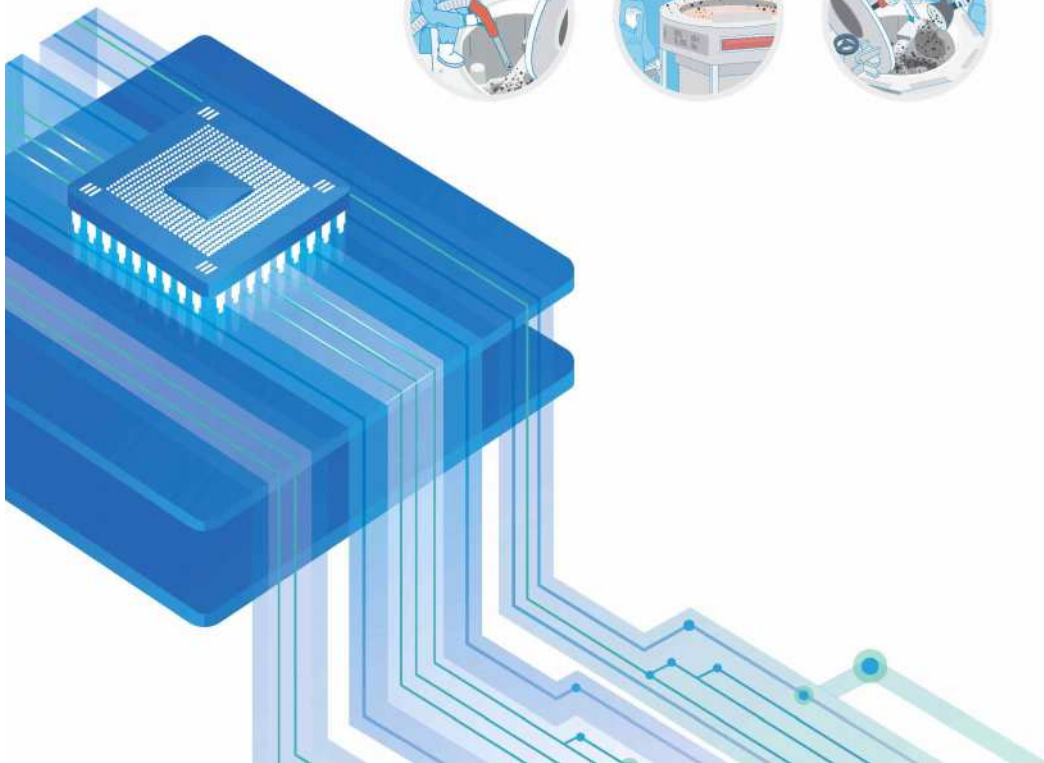


고용노동부

산업안전보건공단

안전보건공단
산업안전보건연구원

전자산업 연마블라스팅 세정작업 안전보건 가이드



전자산업 연마블라스팅 세정 작업 안전보건 가이드

요 약

전자산업 공정에서 사용한 장비, 기계 부품 등을 세정(Cleaning)하는 연마 블라스팅(Abrasive Blasting) 작업은 연마재, 소음, 진동 노출로 인한 질병 위험과 안전사고 등 잠재적 위험이 있다. 본 안전보건 가이드를 바탕으로 블라스팅 연마재와 블라스팅 방법 등에 따른 구체적인 조치 사항을 반영하여 사용할 것을 권장한다.

1. 연마 블라스팅 작업 전 안전보건 조치 사항

- 회사의 규정에 따라 연마 블라스팅 작업 허가를 받는다.
- 연마 블라스팅 작업공간을 주변의 다른 공정이나 작업과 격리하고, 작업 구역을 표시한다. 필요한 경우 출입을 제한한다.
- 연마 블라스팅 작업 시 발생할 수 있는 유해·위험 요인을 확인하고 관리할 수 있는 안전보건 조치를 취한다.
- 연마 블라스팅 작업 시 사용하는 안전보건 시설(세척·세안 설비, 배기 장치 등)과 개인보호장비의 성능을 점검한다.
- 연마 블라스팅 작업에서 사용하는 장비, 도구 등의 성능이 최적인지 확인한다.
- 연마 블라스팅 작업을 안전하게 수행하기 위한 내용을 훈련받고, 사고 발생 시 취해야 할 비상조치 사항을 확인하고 이해한다. 정비팀원 간 안전한 작업 요령 등도 확인한다.
- 연마 블라스팅 작업에 필요한 개인보호장비를 착용한다. 안면 보호 헬멧, 송기 마스크, 귀마개, 보호복, 가죽 장갑과 신발 등을 착용한다. 날아오는

연마재 등 파편과 압력으로부터 몸 전체를 보호할 수 있도록 보호구들을 견고하게 밀착한다. 송기 마스크에 공급되는 공기는 공기질(Air Quality)이 “D”(대기 산소와 같은 수준)를 유지하도록 한다.

2. 연마 블라스팅 작업 중 안전보건 조치 사항

- 연마 블라스팅 작업을 모니터링하고 비상시 조치를 취할 수 있도록 블라스팅 챔버 근처에 동료 근로자나 감독자를 배치한다.
- 연마 블라스팅 작업자는 작업 중 안전사고 위험, 신체 이상, 장비 성능 저하 등 비상 상황이 발생할 경우 작업을 감독하는 근로자와 연락해서 신속하게 조치를 취하도록 한다.

3. 연마 블라스팅 작업 후 안전보건 조치 사항

- 보호구를 착용한 채 연마 블라스팅 작업공간을 깨끗하게 청소한다. 연마 블라스팅 작업 후 생긴 연마재 등 폐기물은 특성에 따라 적절히 분류해서 회수하거나 보관하고 신속히 처리한다.
- 연마 블라스팅 작업을 마치고 안전 점검을 마친 후, 연마 블라스팅 작업 이력 카드에 수행한 작업 종류, 작업 날짜, 작업 근로자, 발생한 문제 등의 주요 작업 내역을 기록하고 보존한다.

4. 연마 블라스팅 작업 주요 안전보건 점검 리스트

1) 연마 블라스팅 작업 전 안전보건 점검 사항

점검 항목	예	아니오	해당없음
회사 규정에 따라 블라스팅 작업을 위한 안전작업허가서를 받았는가?			

점검 항목	예	아니오	해당없음
연마 블라스팅 작업 내용을 구체적으로 지시받고, 그 내용을 알고 있는가? 또한 정비팀원들 간의 안전한 작업 요령을 확인했는가?			
연마 블라스팅 작업에 필요한 안전한 작업 절차서 등을 검토했는가?			
관계 부서와 안전한 연마 블라스팅 작업에 필요한 조치를 취했는가?			
연마 블라스팅 작업 구역을 다른 작업공간과 격리하고 접근 제한 조치를 하였는가?			
연마 블라스팅 작업에서 발생하는 핵심 안전보건 유해·위험 요인을 확인했으며, 사고 영향 범위를 알고 있는가(주요 유해·위험 물질 위험성평가 실시)?			
연마 블라스팅에 필요한 장비와 도구 등을 챙기고 성능을 확인했는가?			
배기 장치, 세척·세안 설비, 보호구 등의 작동 성능을 확인했는가?			
공기압축기는 오일을 사용하지 않은 유형인지 확인했는가?			
안면 보호 헬멧, 송기 마스크, 보호복, 가죽 장갑 및 신발 등을 착용했는가?			
연마 블라스팅에서 사용하는 송기 마스크에는 공기질 “D”(대기산소와 같은 수준)인 공기가 공급되는지 확인했는가?			
공기압축기와 공기 공급 호스가 잘 연결되고 견고한지 확인했는가?			
안면 보호 헬멧, 보호복, 장갑, 신발, 송기 마스크 등 개인보호장비들이 서로 잘 밀착되었는가?			
연마 블라스팅 작업 동안 비상사태 발생 시 조치 사항 등 핵심 안전보건 교육을 받았는가?			
작업 중 비상 상황이 발생했을 때 외부 감독자와 신호 등 연락할 방법이 있는가?			

점검 항목	예	아니오	해당없음
-------	---	-----	------

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
-------	---	-----	------

연마 블라스팅 작업 후 보호구를 착용하고 연마재 등 폐기물을 특성에 따라 적절하게 분리, 수거, 보관했는가?

연마재 등 폐기물을 보관하는 장소는 적절한 환기 등 안전한 보관 기준을 유지하고 있는가?

회사가 정한 규정과 양식에 따라 주요 연마 블라스팅 작업 내역을 기록했는가?

안전한 연마 블라스팅 작업을 위해 추가로 기록해야 할 사항이 있다면 써 주세요.

1 목 적

- (1) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업의 공정에서 사용된 금속과 비금속 부품, 기계, 장비에 묻은 먼지 등 오염물질을 제거하기 위한 연마 블라스팅 세정 작업에 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 공정에서 사용된 금속과 비금속 부품, 기계, 장비에 묻어 있는 먼지 등을 제거하는 연마 블라스팅 세정 작업을 할 때 일반적인 유해·위험 요인 때문에 일어날 수 있는 위험을 관리하는 데 적용한다.
- (2) 반도체, LCD, OLED 제조 등 전자산업 공정 설비를 정비하는 작업에서 세정 작업을 하는 데는 직접적으로 적용하지 않는다.
- (3) 다른 산업의 공정에서 사용된 금속과 비금속 부품, 기계, 장비를 연마 블라스팅으로 세정할 때 일어날 수 있는 유해·위험 요인으로 인한 위험을 관리하는 데 응용할 수 있다.

3 용어의 정의

- (1) 본 가이드에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

- 세정(Cleaning): 전자산업 등 제조공정에서 사용한 금속과 비금속 장비, 기계, 부품, 도구 등에 묻은 먼지, 이물질 등의 오염물질을 제거하는 작업을 말한다. 공정에서 최적의 작동을 보장하고 장비의 수명을 연장하기 위한 작업이다. 건조(드라이), 습식, 초음파, 행굼, 윤활 등 다양한 방법이 있다.
- 탈지(Degreasing): 전자산업 등 제조공정에서 사용한 금속과 비금속 장비, 기계, 부품, 도구 등의 표면에서 그리스, 오일, 기타 유사한 물질을 제거하는 과정을 말한다. 기계의 최적 작동을 보장하고, 도장이나 코팅 공정에서 접착력을 개선하며, 장비 고장으로 이어질 수 있는 오염이나 축적을 방지하므로 매우 중요하다.
- 블라스팅(Blasting): 압축공기나 원심 휠을 사용하여 각종 연마재를 세정 대상 표면에 쏘는 작업을 말한다. 표면의 침전물을 제거하거나 균일한 질감을 만들어 소재를 청소하거나 마감하는 데 사용된다. 표면을 손상시키지 않으며, 기본 재료에 손상을 주지 않고 페인트, 녹, 스케일 등을 제거할 수 있다. 금속과 비금속 제조, 부품이나 표면 세정 및 준비와 같은 산업, 공정, 정비 등에서 자주 사용된다. 연마(Abrasive) 블라스팅과 비드(Bead) 블라스팅이 주로 활용된다.
- 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 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. 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 최저 농도를 나타내며, 그 이하에서는 폭발이 일어나지 않는다. 폭발상한은 공기 중 폭발성가스나 증기의 최고 농도를 나타내며, 이 농도가 너무 높으면 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 수행할 때 질소, 아르곤, 헬륨 등 불활성가스의 누출로 산소결핍이 일어나고, 질식이 발생할 우려가 있다.
- 송기 마스크(Air-Line Respirator): 오염되지 않은 공기 공급원에 연결된 긴 호스를 통해 깨끗한 공기를 공급하는 호흡보호구를 말한다. 일반적으로 산업 환경, 소방 시나리오, 특정 유형의 수중 다이빙과 같이 유해 물질이 있거나 산소가 부족한 환경에서 사용된다. 호스의 길이와 기동성에 따라 사용자의 움직임이 제한될 수 있다. 사용자가 많이 움직여야 하는 상황이나 호스의 테더링으로 인해 물리적 장애물이 많은 환경에는 적합하지 않다.
- SCBA(Self-Contained Breathing Apparatus, 자가 공기 호흡 장치): 일반적으로 사용자의 등에 고압 탱크를 메는 형태의 자체 공기 공급 장치를 말한다. 공기 공급량은 한정되어 있다. 사용자는 호스에 묶여 있지 않기 때문에 이동성이 뛰어나고 다양한 환경에서 자유롭게 움직일 수 있다. 고압 탱크의 무게로 인해 착용하기가 더 무겁다.

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

4 관련 근거(법규 및 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 연마 블라스팅 작업 전 조치 사항

- (1) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업을 시작하기 전에 안전하고 효과적인 작업을 위해 다음과 같은 몇 가지 중요한 조치를 취한다.

5.1 위험성평가 실행

- (1) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업 방법에서 일반적으로 발생할 수 있는 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) 인화성 관련 위험: 인화성 가스·증기에 의한 화재와 폭발 위험, 인화점 이상으로 운전되는 공정, 복사열, 고농도 산소, 산화제가 있는 작업환경
- (라) 먼지 입자 노출 위험: 연마 블라스팅에 의한 세정 작업 중 피부와 눈 손상, 호흡기질환 등 질병 발생 위험이 있는 연마재, 비드 등 먼지 입자
- (마) 인체공학적 위험: 블라스팅 장비, 세정 부품 등을 다루거나 옮기는 작업 등에서 반복적인 동작을 하고 불편한 자세로 작업하는 경우 발생할 수 있

는 근골격계질환과 부상 등

- (바) 소음성 난청 위험: 고압 공기 활용으로 발생하는 높은 수준의 소음으로 인한 소음성 난청
- (사) 신체 진동 위험: 고압 블라스팅 기계 활용으로 발생하는 손, 어깨 등 신체 국소 부위와 전신 진동
- (아) 밀폐공간 관련 위험: 블라스팅 등 세정 기술에 따라 잠재적 밀폐공간 위험이 있다¹⁾. 블라스팅 챔버는 밀폐공간으로, 산소부족이나 유해 물질 증독이 일어날 수 있는 환경이다.

(2) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업에 관련된 화학물질, 블라스팅 연마재 노출, 블라스팅 작업별 건강위험과 환경 위해 요인을 평가한다. 예를 들어 세정 작업의 품질과 효율성에 영향을 미치지 않는다면 블라스팅 연마재로 유기물(Organic)이나 덜 위험한 연마재를 선택한다.

(3) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업 방법과 종류에 따라 발생할 수 있는 유해·위험 요인으로 인한 건강과 환경 위험을 최소한으로 관리하기 위해 적절한 안전조치를 결정한다.

5.2 제조업체와 원청 지침 검토

- (1) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업을 해야 할 특정 금속과 비금속 부품, 기계, 장비에 대한 제조업체와 원청의 지침, 사용 설명서를 참조한다.
- (2) 제조업체와 원청에서 권장하거나 요구하는 연마 블라스팅에 의한 세정 작업 방법과 기술, 주의 사항, 제한 사항을 이해하고 따른다.

1) 세정 기술, 세정 대상 제품 규격에 따라 블라스팅 챔버의 크기, 형태 등에 따라 밀폐 형태와 크기는 다양하다. 챔버 밀폐 정도와 세정 방법 등에 따라 적절한 안전조치를 취해야 한다.

5.3 연마 블라스팅 세정 작업에 필요한 정보 수집

- (1) 오일, 그리스, 잔여물, 유해 물질 등 금속과 비금속 부품이나 장비에 존재하고 연마 블라스팅에 의한 세정 작업을 통해 제거해야 하는 오염물질 유형에 대한 정보를 수집한다. 이 정보는 가장 적합한 블라스팅 연마재와 방법을 결정하는 데 필요하다.
- (2) 해당 작업을 위한 안전보건 지침 등을 확보하여 작업 전에 관련자에게 충분히 교육·훈련하고, 관련 기록을 보존한다.

5.4 적절한 블라스팅 연마재와 방법 선택

- (1) 세정해야 할 오염물질의 유형과 특성에 따라 적절한 블라스팅 연마재, 블라스팅 방법 등을 선택한다.
- (2) 금속과 비금속 부품과의 호환성과 특정 오염물질 제거 효과를 고려한다.

5.5 물질안전보건자료(MSDS) 확보

- (1) 선택한 블라스팅 연마재 화학물질에 대한 물질안전보건자료(Material Safety and Data Sheets. MSDS)를 확보한다. MSDS는 유해성, 권장 개인 보호장비, 취급 시 주의 사항, 비상 대응 절차 등 중요한 안전 정보를 제공한다.
- (2) 근로자와 관련 담당자는 MSDS의 내용을 숙지하고 활용하여 안전한 작업이 되도록 한다. 기타 자세한 사항은 KOSHA Guide “물질안전보건자료 작성지침(W-15-2020)”, “물질안전보건자료 교육 실시에 관한 지침(H-15-2021)”에 관한 지침 등을 참조한다.

5.6 안전보건 시설 등 성능 확인

- (1) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업 과정에서 발생하는 공기 중 입자 등을 배기하고 제어할 수 있도록 적절한 환기장치 정상 작동과 성능
- (2) 세척·세안 설비 위치와 작동 여부
- (3) 개인보호장비 규격과 성능
- (4) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업에서 생기는 폐기물을 담는 용기, 청소 재료 준비 여부

5.7 장비 조립과 점검

- (1) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업에서 사용될 모든 기구, 장비, 도구를 준비한다.
- (2) 연마 블라스팅 장비 등의 누수, 부품 손상 등 성능을 사전에 검사한다.

5.8 적절한 개인보호장비 착용

- (1) 근로자는 연마 블라스팅에 의한 세정 작업을 시작하기 전에 각종 안전사고와 질병 위험 요인으로부터 자신을 보호하기 위해 유해·위험 요인이 무엇인지에 따라 장갑, 보안경, 안면 보호 헬멧, 송기 마스크, 보호복, 장화, 귀마개 등 적합한 개인보호장비를 착용한다. 블라스팅 압력으로 개인 보호구들이 해체, 손상되어 신체가 노출되지 않도록 밀착 등 철저한 조치를 한다.
- (2) 공기 중 연마재 농도가 매우 높은 제한된 공간에서 블라스팅 세정 작업을 수행하는 경우, 외부에서 공기를 공급하는 송기 마스크를 착용한다. 송기 마스크

크는 공급되는 공기질(Air Quality)이 “D”(대기 산소와 같은 수준)를 유지하도록 한다.

- (3) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업을 수행하는 모든 근로자가 올바른 사용법을 교육받는다.

5.9 격리 조치

- (1) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업에서 발생하는 오염물질이나 사용하는 연마재의 확산을 방지하기 위해 일정 공간을 격리할 필요가 있는지 판단하고 조치한다. 여기에는 연마재 등 오염물질 확산을 최소화하기 위한 차단벽 설치, 차단 트레이 사용, 적절한 작업장 준비 등이 포함된다.
- (2) 특히 블라스팅 작업공간은 외부로 연마재 등 먼지가 나가지 않도록 격리하고, 적절한 배기 장치 등의 공학적 격리 조치를 취하며, 공간 안의 압력은 음압으로 유지하는 것이 좋다. 비상 상황 발생 시 신속한 조치를 취하기 위해 블라스팅 챔버 근처에 동료 근로자나 감독자를 배치한다.

5.10 안전보건 교육

- (1) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업에 참여하는 근로자에게 관련 법규에서 규정한 안전보건 교육을 사전에 실시하여 이들이 위험을 정확히 인식하고 안전하게 작업하도록 한다.
- (2) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업 근로자는 작업할 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) 비상 대피 전 안전조치를 취해야 할 주요 공정 설비 및 절차
- (마) 비상 대피 후 수행해야 하는 행동과 절차
- (바) 구조 또는 의료 업무를 맡은 근로자의 지시에 따라야 하는 절차
- (사) 유해 물질이 눈, 피부 등에 닿았을 때는 즉시 세척 설비로 닿은 부위를 세정하고, 의사의 처치를 받는다.

- (3) 연마 블라스팅 작업 감독자는 사고가 발생할 경우 송기 마스크를 착용하고 구조 작업을 하며, 비상 연락망을 가동하여 신속하게 119 구조대에 신고한다(아래 산업재해 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 연마 블라스팅 작업 중 안전보건 조치

- (1) 연마 블라스팅 세정 작업을 위한 별도로 격리된 구역을 설정하고, 경계를 명확히 표시하며, 권한이 없는 사람의 접근을 제한한다(그림1 참조).



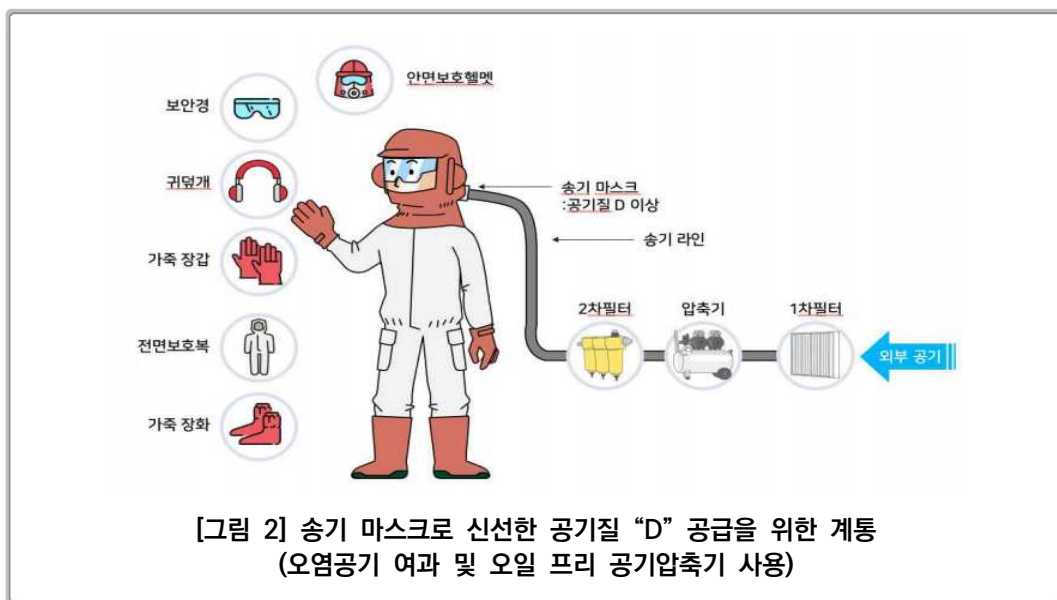
[그림 1] 연마 블라스팅 작업공간 분리 챔버 사례

(2) 압축공기, 송풍기, 진공 세정기를 활용해 연마 블라스팅에 의한 세정 작업을 할 때 보안경, 귀 덮개, 송기 마스크, 안면 보호 헬멧, 보호복, 장갑 등의 개인 보호장비를 착용하여 몸 전체를 보호한다. 이때 작업 방법, 작업공간 등을 종합적으로 고려하여 구체적인 개인보호장비의 종류를 결정한다(그림2, 3 참조).

- 보안경: 날아오는 파편으로부터 눈을 보호하기 위해 착용한다. 눈 주변을 완전히 감싸고 김 서림 방지 기능이 있어 선명한 시야를 유지할 수 있는 것을 사용한다.
- 안면 보호 헬멧: 보안경과 함께 착용하여 날아오는 파편으로부터 얼굴을 보호한다.
- 귀마개 또는 귀 덮개: 블라스팅 시 일어나는 높은 수준의 소음으로부터 귀를 보호한다.
- 송기 마스크: 연마 블라스팅 작업은 고압을 사용하기 때문에 먼지가 매우 많이

발생한다. 특히 밀폐된 실내 공간의 먼지 농도는 인체에 위험한 수준이다. 하지만 방진마스크는 호흡기를 보호하는 데 한계가 있으므로, 외부에서 산소를 공급하는 송기 마스크를 사용한다. 송기 마스크에 공급하는 압축공기의 질은 D등급²⁾으로 한다. 공기압축기(Air Compressor)로부터 송기 마스크로 공기를 공급하는 호스는 견고해야 한다.

- 보호복: 압축공기로 분사하는 연마재, 비드 등의 파편으로부터 몸을 보호하기 위해 공업용 긴팔 셔츠, 긴바지 또는 작업복, 발가락이 닫힌 신발이나 부츠를 착용한다.
- 장갑: 취급하는 연마재의 종류에 적합한 것을 선택한다. 강한 분사에도 견딜 수 있는 재질로 한다. 잘 맞는 것을 착용하며, 마모나 손상 징후가 있는지 정기적으로 점검한다.
- 보호구 간 틈이 생기지 않도록 테이프 등으로 잘 밀봉한다.



2) CGA(Compressed Gas Association, 압축가스협회)에서 정의한 D등급 호흡 공기로 작업자, 인공호흡기에서 사용해야 하는 압축 호흡 공기 표준이다. 이 공기 표준은 산소 함량 19.5~23.5%, 일산화탄소(CO) 함량 10ppm(100만분의 1) 미만, 이산화탄소(CO₂) 함량 1,000ppm 미만이며, 냄새가 없어야 한다. 블라스팅 작업자의 안전을 보장하려면 D등급 호흡 공기의 품질을 지속적으로 모니터링하고 유지해야 한다.



- (3) 적절한 국소 배기와 전체환기를 통해 블라스팅에서 발생하는 흙 등 입자상 물질을 제거한다. 블라스팅 작업공간은 국소 배기를 통해 음압 상태로 만들어 블라스팅 시 발생하는 먼지가 외부로 퍼지지 않도록 한다.
- (4) 송기 마스크로 공기를 공급하는 공기압축기는 오일을 사용하지 않은 것으로 한다. 공기압축기의 공기에 소량의 유증기나 미스트라도 포함되면 호흡기에 해로울 수 있기 때문이다(그림2, 3 참조).
- (5) 연마 블라스팅 장비, 환기장치 등이 적절한 작동 상태에 있는지 정기적으로 점검하고 유지관리 한다. 위험할 수 있는 누출, 호스 손상, 부품 마모 등이 있는지 정기적으로 유지보수를 하여 사고로 이어질 수 있는 오작동을 예방한다. 특히 블라스팅 탱크는 산업안전보건법 제93조 압력용기 안전 검사 대상 여부를 확인하고, 관련 법규를 준수한다.
- (6) 블라스팅 장비는 한 번에 한 사람만 작동하여 다른 사람의 부상을 방지한다.

- (7) 작업공간을 정기적으로 청소하고, 쌓인 이물질이나 흘린 물질을 제거한다.

7 연마 블라스팅 작업 후 안전보건 조치 사항

7.1 블라스팅 연마재 등 폐기물 보관 및 폐기

- (1) 블라스팅 세정 작업 후 연마재 회수·수거, 오염물질 제거 등의 작업을 수행할 때 반드시 적절한 호흡보호구 등 개인보호장비를 착용한다. 블라스팅 세정 작업 후에도 얼마간은 챔버 안의 공기 중 먼지 농도가 높으며, 바닥 등에 사고 위험이 있기 때문이다.
- (2) 관련 법, 회사 규정과 지침에 따라 폐기물, 사용한 블라스팅 연마재 등 오염 물질을 적절하게 수거, 보관하고, 가능한 한 빨리 폐기한다. 블라스팅에 사용되는 연마재를 취급, 보관, 운반할 때는 안전한 절차를 따른다.
- (3) 유해·위험 폐기물은 지정된 용기에 분리하여 보관하고, 유출이나 누출을 방지하기 위해 적절한 라벨을 부착하고 밀폐한다.
- (4) 폐기물의 성분에 따라 적절한 절차를 준수하여 근로자 노출 방지와 환경에 미치는 영향을 최소화한다.
- (5) 자체 처리, 회수, 위탁 등 상황에 따라 적절한 안전보건 조치를 취한다.

7.2 블라스팅 세정 작업 장비 및 도구 유지관리

- (1) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업 장비, 도구, 기계가 제대로 작동하고 사고나 오작동이 일어나지 않도록 유지관리 한다.

- (2) 연마 블라스팅 세정 작업 장비는 지정된 장소에 보관한다.

7.3 환기 및 공기질

- (1) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업을 마친 후 공기 중에 남을 수 있는 가스, 증기, 흙, 미스트 등을 제거하기 위해 일정 시간 동안 국소 배기, 전체환기 등 적절한 환기를 한다.
- (2) 국소 배기, 전체환기 시스템을 정기적으로 점검하고 정비하여 제대로 작동하는지 확인하고 오염물질이 장치에 쌓이지 않도록 한다.
- (3) 국소 배기, 전체환기 시스템에서 배출되는 물질은 관련 법, 회사 규정과 지침에 따라 적절하게 처리한다.

7.4 개인보호장비 폐기 및 개인위생

- (1) 오염된 개인보호장비는 정해진 프로토콜에 따라 적절히 제거하고 폐기한다.
- (2) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업을 마친 후 목욕을 하고 옷을 갈아입고 퇴근하는 등 개인위생을 철저히 실천한다.

7.5 검사 및 품질 관리

- (1) 블라스팅 세정을 마친 금속 부품, 기계, 장비에 대한 최종 검사를 클린룸이나 추가 오염을 방지할 수 있는 환경에서 실시하여 원하는 수준으로 세정되었는지 확인한다.
- (2) 잔류 오염, 누락된 부분, 불만족스러운 세정 결과가 있으면 적절한 추가 세정 방법에 따라 해결한다.

8 작업환경측정 및 특수건강진단 실시

- (1) 보건관리자(사업주)는 연마 블라스팅 작업 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, 작업 종류 등에 따라 평가하고, 그 결과에 따라 적절한 노출 저감 대책을 수립한다.
- (2) 보건관리자(사업주)는 연마 블라스팅 작업 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. 블라스팅 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) 사용한 블라스팅 작업 방법, 연마재, 문제 또는 관찰 사항을 포함하여 수행한 세정 활동에 대해 기록하고 보존한다.
- (2) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업 완료 후 구체적인 안전보건 조치는 사용된 블라스팅 방법, 블라스팅 연마재, 세정 작업과 관련된 특정 위험에 따라 달라질 수 있다.
- (3) 연마 블라스팅에 의한 세정 작업 기록은 향후 세정 작업과 반복되는 잠재적 문제를 파악하는 데 도움이 되도록 한다.

4. 안전보건가이드 개발 필요성 설문지

안녕하십니까?

한국방송통신대학교 박동욱 교수 등 연구진 18명은 전자산업 공정 설비 정비에서 발생하는 여러 안전보건 위험으로부터 근로자를 보호하기 위한 안전보건 가이드를 개발했습니다. 2023년에는 총 6종의 전자산업 공정 설비 정비의 안전보건 가이드를 개발했습니다. 이 가이드는 주로 공정 정비를 담당하는 근로자의 안전보건 위험을 예방하기 위한 목적으로 개발했습니다. 주로 정비와 세정을 담당하는 중소 규모의 하청업체에서 광범위하게 활용할 것으로 기대하고 있습니다.

1) 전자산업의 각종 공정 설비를 정비하는 작업에서 발생하는 안전보건 위험을 관리하기 위한 안전보건 가이드 개발의 필요성, 활용성 등에 대한 귀하의 평가와 자문을 요청드리오니 협조해 주시면 감사하겠습니다. 첨부부의 “전자산업 공정 설비 정비 작업 안전보건가이드”를 사례로 보시고 아래 설문에 응답해주십시오. 평가의 답례로 소정의 자문료(10만원)를 지급할 예정이오니 개인정보 등 제공에 동의해 주시기 바랍니다.

2) 아래 설문지 응답결과와 자문료지급을 위한서류를 이 승희에게 보내 주십시오

응답자 산업보건 전문 경력

- 근무하는 곳: 사업장 원청 ☐ 사업장 협력기관 ☐ 대학 등 교육기관 ☐ 측
정기관 ☐ 시민단체 ☐
- 전문 분야: 산업위생 ☐ 직업환경의학의 ☐ 산업간호사 ☐ 사업장 공정
운전자 ☐
- 근무 경력: 5년 이하 ☐ 5~10년 ☐ 10년 이상 ☐

1. 반도체 등 전자산업 안전보건 가이드 개발의 필요성 분야

반도체 등 전자산업에 한해서 안전보건 위험을 관리할 수 있는 안전보건 가이드를 개발한다고 가정할 때 개발의 필요성을 판단해서 응답해 주십시오. 첨부 연구진이 개발한 **“전자산업 공정 설비 정비에 대한 안전보건 가이드”**를 참조하십시오

1-1. 안전보건공단이 전자산업 공정 설비 정비(주로 하청) 근로자를 위한 표준 안전 보건 가이드를 개발할 필요가 있다고 생각하십니까?

- 매우 그렇다 ☐ 그렇다 ☐ 보통이다 ☐ 필요하지 않다 ☐

1-2. 만약 필요하지 않다고 응답하신 경우 주요한 이유를 골라 주십시오. 2개까지 선택할 수 있습니다.

- 하청업체 등 사업장의 책임이기 때문이다 □
- 효과가 없기 때문이다 □
- 원청회사에서 개발해서 보급하는 것이 좋기 때문이다 □
- 기타()

1-3. 근로자를 위한 표준 안전보건 가이드를 개발해야 한다고 생각하시면 가장 우선으로 개발해야 할 직무는 무엇이라고 생각하십니까?

- 정비 ☐ 운전 ☐ 사무 ☐ 기타 ☐

2. 전자산업 안전보건 가이드 개발 대상 순위 분야

반도체 등 전자산업에 한해서 안전보건 위험을 관리할 수 있는 안전보건 가이드를 개발한다고 가정할 때 개발 대상에 대한 우선순위를 평가해 주십시오. 첨부 연구진이 개발한 “**전자산업 공정 설비 정비에 대한 안전보건 가이드**”를 참조하십시오

2-1. 전자산업 안전보건 가이드 개발 대상 순위를 표시해 주십시오. 괄호에 순번 1, 2, 3, 4로 써 주십시오.

- 전자산업 공정 설비 정비³⁾ ()
- 전자산업 공정 인프라 지원 설비 정비 ()
- 전자산업 공정 운전 직무 ()
- 전자산업 공정 기계 등을 세정(cleaning)하는 직무⁴⁾: 주로 사외 하청 협력업체에서 유기용제 탈지, 산과 알카리 세정, 블라스팅 등이 있다.
()

2-2. 본 연구에서 올해 1차로 전자산업 일부 공정 설비 정비와 세정 직무에 대한 안전보건 가이드를 개발했습니다. 개발 필요성의 정도를 평가해 주십시오.

- 3) 전자산업 공정에서 사용하는 기계, 설비 등을 점검하고, 점검 결과 발견된 결함과 고장을 보수하며, 부품 교체나 수정 작업 등 주기적으로 예방 조치를 하는 등 설비 유지관리에 관한 모든 작업을 말한다.
- 4) 전자산업 등 제조공정에서 사용한 금속 및 비금속 장비, 기계, 부품, 도구 등에 묻은 먼지, 이물질 등의 오염물질을 제거하는 작업을 말한다. 공정에서 최적의 작동을 보장하고 장비의 수명을 연장하기 위한 작업이다. 건조(드라이), 습식, 초음파, 행굼, 윤활 등 다양한 방법이 있다. 블라스팅, 화학물질 세정 등이 있다.

- 전자산업 공정 설비 정비: 매우 필요하다 ☐ 필요하다 ☐ 필요하지 않다 ☐
- 전자산업 증착 공정 설비 정비: 매우 필요하다 ☐ 필요하다 ☐ 필요하지 않다 ☐
- 전자산업 식각 공정 설비 정비: 매우 필요하다 ☐ 필요하다 ☐ 필요하지 않다 ☐
- 전자산업 이온주입 공정 설비 정비: 매우 필요하다 ☐ 필요하다 ☐ 필요하지 않다 ☐
- 전자산업 공정에서 사용한 기계, 부품 등 세정 작업:
매우 필요하다 ☐ 필요하다 ☐ 필요하지 않다 ☐
- 전자산업 공정에서 사용한 기계, 부품 등 연마 블라스팅 세정 작업:
매우 필요하다 ☐ 필요하다 ☐ 필요하지 않다 ☐

3. 전자산업 공정 설비 정비 작업에 대한 안전보건 가이드 구성 적정성 분야

첨부 본 연구에서 개발한 “전자산업 공정 설비 정비에 대한 안전보건 가이드” 내용과 아래에 요약한 안전보건 가이드의 전체적인 구성을 보시고, 아래 질문에 응답해 주십시오.

- 요약 〈현장 또는 작업 근로자용〉
- 주요 점검 체크리스트 〈현장 또는 작업 근로자용〉
- 목적
- 적용 범위
- 용어의 정의
- 정비 작업 전 안전보건 조치 사항
- 정비 작업 중 안전보건 조치 사항
- 정비 작업 후 안전보건 조치 사항
- 작업환경측정 및 특수건강진단 실시
- 기록 유지 서류 작성 및 보존

3-1. 안전보건 가이드의 주요 구성을 전반적으로 평가해 주십시오. 의견을 추가로 주셔도 좋습니다.

- 적정하다 ☐ 보통이다 ☐ 적정하지 않다 ☐
- 기타 의견()

3-2. 안전보건 가이드 내용의 흐름을 전반적으로 평가해 주십시오. 의견을 추가로 주셔도 좋습니다.

- 적정하다 ☐ 보통이다 ☐ 적정하지 않다 ☐
- 기타 의견()

3-3. 안전보건 가이드의 분량을 전반적으로 평가해 주십시오. 의견을 추가로 주셔도 좋습니다.

- 적정하다 ☐ 보통이다 ☐ 많은 편이다 ☐ 적은 편이다 ☐
- 기타 의견()

3-4. 안전보건 가이드의 내용이 이해하기 쉽다고 생각하십니까?

- 매우 그렇다 ☐ 그렇다 ☐ 보통이다 ☐ 어렵다 ☐
- 기타 의견()

4. 전자산업 공정 설비 정비 작업에 대한 안전보건 가이드 활용 가능성 분야

첨부한 문서는 본 연구에서 개발한 “전자산업 공정 설비 정비에 대한 안전보건 가이드”로, 표준 가이드입니다. 추가로 사업장의 공정, 직무, 특성에 따라 일부 개정해서 활용할 수 있습니다. 전자 업종 등 관련 업종에서 활용할 가능성에 대한 의견을 듣고 싶습니다.

4-1. 전자산업에서 공정이 유사한 사업장의 안전보건 관리에 도움이 된다고 생각하

십니까?

- 매우 도움이 된다 ☐ 도움이 된다 ☐ 보통이다 ☐ 도움이 되지 않는다 ☐

4-2. 전자산업 사업장에서 안전사고와 직업병 예방에 도움이 된다고 생각하십니까?

- 매우 도움이 된다 ☐ 도움이 된다 ☐ 보통이다 ☐ 도움이 되지 않는다 ☐

4-3. 전자산업 사업장에서 안전보건 교육자료로 활용하는 데 도움이 된다고 생각하십니까?

- 매우 도움이 된다 ☐ 도움이 된다 ☐ 보통이다 ☐ 도움이 되지 않는다 ☐

4. 전자산업 안전보건 가이드 개발 연구 추진 세미나 등 모임현황

no	일시	장소	회의 형태	발표자 및 회의/토론내용	참석자 수	참여기관 현황
1	2023. 04.03	zoom 회의	zoom	- 박동욱 : 반도체/LCD 산업 공정 정비 직무 중심: 실태 조사/생태계 조사 방향 국내외 반도체/LCD 법적 규제/가이드/지침 등 국내외 반도체/LCD 산업재해 또는 사고 통계-정비 직무 중심	10	연구진
2	2023. 04.05	zoom 회의	zoom	- 박동욱 : 반도체/LCD 산업 공정 직무별 위험성평가(risk assessment) 가장 위험 정비 직무 6종 선정 방향 정비 직무 가이드 개발(책자 및 영상)	10	연구진
3	2023. 04.17	방송대 나눔관 318호	대면	- 박동욱 : 반도체/LCD 공정별 직무별 안전보건 종합적 위험평가 전략-정비직무 중심 반도체/LCD 정비 직무 조사 전략 반도체 안전보건위험 평가/위험 정비직무 선정<안> 등 과제 전반 방향	14	연구진 산업안전보건공단 초점기업(LGD)
4	2023. 04.25	서울광역 본부 대회의실	대면	- 박동욱 : 전자산업안전보건 가이드 개발 연구 개시회의	11	연구진 고용노동부 산업안전보건공단

no	일시	장소	회의 형태	발표자 및 회의/토론내용	참석자 수	참여기관 현황
5	2023. 04.25	방송대 나눔관 206호	대면	- 박동욱 : OLED 주요 공정/정비직수 분석 안전보건유해요인 위험평가 안전보건가이드 개발 대상 직무(CVD증착) 안전보건유해요인 발생 및 노출특성 - LGD: 정비반의 pm현황, 화학물질현황, 특수검진, 작업환경측정결과검토 -> 위험정비 작업 선정	5	연구진 초점기업(LGD)
6	2023. 05.10	zoom 회의	zoom	- 박동욱 : 주요 연구 내용별 진행상황 (위험성평가, 안전보건가이드 개발 대상 초안, 공정별 화학물질 중심)	6	연구진
7	2023. 05.10	zoom 회의	zoom	- 박동욱 : 주요 연구 내용별 진행상황 (해외전자산업 제도/규정 고찰, 현장 방문일정 조율, 작업환경측정, 공정별 정비 정보 요청 자료 확인)	4	연구진
8	2023. 06.01	방송대 열린관 414호	대면	- 이경희 : 해외 반도체 관련 규정 - 정은교 : 반도체 LCD, OLED 제조공정 - 박동욱 : SEMI 가이드 중 “위험성평가” 평가표준 설명 TSMC 등 해외 ESG 보고서 중 본 연구 관련 내용 고찰 연구진행 상황 및 향후 추진 일정	16	연구진 산업안전보건공단 초점기업 (삼성, LGD, SK하이닉스)
9	2023. 06.08	zoom 회의	zoom	- 박동욱 : 전자산업 사업장 방문 관련 업무 협의	5	연구진
10	2023. 06.08	zoom 회의	zoom	- 박동욱 : 공단 가이드 개발 대상 직무 협의	5	연구진 산업안전보건공단

no	일시	장소	회의 형태	발표자 및 회의/토론내용	참석자 수	참여기관 현황
11	2023. 06.14	zoom 회의	zoom	- 박동욱 : 전자산업의 정비 조사 항목 및 가이드 초안 설명 - 윤충식 : 반도체 공정 중 CVD 증착공정 정비작업 안전보건가이드 종합	7	연구진
12	2023. 06.15	zoom 회의	zoom	- 박주현 : 전자산업 작업환경측정 결과 자료 코딩	5	연구진
13	2023. 07.06	방송대 열린관 421호	대면	- 박동욱 : 연구진행 경과 설명 - 이경희 : 국내 외 반도체/oled 관련법적규정 또는 권고내용 - 윤충식 : 반도체 CVD공정 정비작업 가이드 초안 - 박동욱 : 전자산업공정 설비 정비작업 가이드 초안 - 김형렬 : 전자산업 산업재해 통계분석 결과 - 김승원 : 초점기업 작업환경 측정결과 분석 - 정은교 : 반도체/OLED공정 위험분석-화학물질중심 - 이나루 : 전자산업의 화학물질로 인한 건강피해를 어떻게 확인할 것인가? - 전형배 : 원청의 하청위험관리control> 역할과 책임	32	연구진 산업안전보건공단 초점기업(삼성,L GD,SK하이닉스) 시민단체(반올림)
14	2023. 07.07	방송대 열린관 421호	대면	- 박동욱 : 전자산업 기계/장비/부품 등 세정작업 가이드 초안, 반도체/OLED증착공정 정비 작업 가이드 초안 - 하권철 : 전자산업원하철과관련 - 심상완 : 설문조사분석사례(화학산업중심) - 최경근 : 반도체최신공정과유해인자 - SK하이닉스 : 전자산업우수사례 - 이재환 : 실태조사현장조사계획(FGI포함) - 황성호 : 화학물질유통망조사방안	31	연구진 산업안전보건공단 초점기업 (삼성, LGD, SK하이닉스) 시민단체(반올림)

연구진

연구기관 : 한국방송통신대학교 산학협력단

연구책임자 : 박동욱 (교수, 한국방송통신대학교)

연구원 : 고동희 (교수, 가톨릭관동대학교)

연구원 : 김승원 (교수, 계명대학교)

연구원 : 김형렬 (교수, 가톨릭대 서울성모병원)

연구원 : 류현철 (센터장, 일환경건강센터)

연구원 : 박주현 (교수, 동국대학교)

연구원 : 윤충식 (교수, 서울대학교)

연구원 : 이경희 (Lead Industrial Hygienist, 주한미군)

연구원 : 장 희 (본부장, 한국안전문화진흥원)

연구원 : 정은교 (교수, 오산대학교)

연구원 : 최상준 (교수, 가톨릭대학교)

연구원 : 하권철 (교수, 창원대학교)

연구보조원 : 고경윤 (석사과정, 가톨릭대학교)

연구보조원 : 김소연 (매니저, 창원파티마병원)

연구보조원 : 박정연 (석사과정, 서울대학교)

연구보조원 : 반진우 (산업위생관리기사, 일환경건강센터)

연구보조원 : 이승희 (연구조교, 한국방송통신대학교)

연구보조원 : 이혜승 (학사과정, 창원대학교)

연구상대역 : 정광재 (부장, 직업환경연구실)

연구기간

2023. 04. 13. ~ 2023. 11. 30.

본 연구는 산업안전보건연구원의 2023년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며,
우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

전자산업 안전보건 가이드 개발
(2023-산업안전보건연구원-720)

발 행 일 : 2023년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아

연구책임자 : 한국방송통신대학교 교수 박동욱

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : 052-703-0890

팩 스 : 052-703-0000

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

I S B N : 979-11-93642-00-9

공공안심글꼴 : 무료글꼴, 한국출판인회의, Kopub바탕체/돋움체