

## 전자산업 유해폐기물 관리 안전보건 가이드 개발

김소연<sup>1\*</sup> · 조경이<sup>2,3</sup> · 이승희<sup>4</sup> · 이경희<sup>5</sup> · 권세영<sup>6</sup> · 박동욱<sup>4†</sup>

<sup>1</sup>창원파티마병원, <sup>2</sup>서울대학교 보건대학원 환경보건학과, <sup>3</sup>국립암센터 암예방사업부,  
<sup>4</sup>한국방송대학교 보건환경학과, <sup>5</sup>주한미군, <sup>6</sup>한국산업안전공단

## Development of a General Occupational Safety and Health (OSH) Guide for the Collection, Storage and Disposal of Chemical Waste Generated in the Manufacture of Electronic Products

Soyeon Kim<sup>1\*</sup> · Kyung Ehi Zoh<sup>2,3</sup> · Seunghee Lee<sup>4</sup> · Kyong-Hui Lee<sup>5</sup> · Seyoung Kwon<sup>6</sup> · Dong-Uk Park<sup>4†</sup>

<sup>1</sup>Changwon Fatima Hospital, Changwon, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University

<sup>3</sup>National Cancer Control Institute, National Cancer Center

<sup>4</sup>Department of Environmental Health, Korea National Open University

<sup>5</sup>US Army 65th Medical Brigade, Force Health Protection and Preventive Medicine Unit

<sup>6</sup>Korea Occupational Safety and Health Agency

### ABSTRACT

**Objectives:** This study aims to develop an Occupational Safety and Health (OSH) guide for the collection, storage and disposal of hazardous waste generated during the manufacture of electronic products.

**Methods:** The guide was developed through a literature review, expert consultations, and field investigations. It focuses on establishing best practices for the proper management of hazardous waste, including its collection, storage, and disposal.

**Results:** Key practices for the collection, storage, and disposal of hazardous waste in electronics manufacturing include: 1) Labelling and segregation of wastes based on chemical compatibility in order to prevent hazardous reactions, 2) use of appropriate leak-proof containers for each type of hazardous waste, 3) regular training on hazardous waste handling with strict adherence to safety protocols, and 4) compliance with local and national regulations for safe and legal disposal.

**Conclusions:** The OSH guide helps protect workers involved in the collection, storage, and disposal of hazardous chemical waste in the electronics industry and improve health and safety compliance.


**Key words:** hazardous waste, chemical waste, Occupational Safety and Health Guide, chemical compatibility


### I. 서 론

산업 공정에서 사용되는 작업별 표준작업절차서


(standard operating procedures, 이하 SOP)는 작업 결과물의 품질과 성능을 균일하게 하는 것을 목표로 한다(Britannica, 2023). 안전 작업 절차서는 작업자의


\*Corresponding author: Dong-Uk Park, Phone: +82-2-3668-4707, E-mail: pdw545@gmail.com  
Department of Environmental Health, Korea National Open University, 86 Daehak-ro, Jongnogu, Seoul, 03087, Republic of Korea  
Received: December 9, 2024, Revised: January 15, 2025, Accepted: February 16, 2025


 Soyeon Kim <https://orcid.org/0000-0001-8080-3126>

 Seunghee Lee <https://orcid.org/0000-0003-4693-811X>

 Seyoung Kwon <https://orcid.org/0009-0005-8209-4171>

 Kyung Ehi Zoh <https://orcid.org/0000-0002-2821-070X>

 Kyong-Hui Lee <https://orcid.org/0000-0001-6709-0280>

 Dong-Uk Park <https://orcid.org/0000-0003-3847-7392>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

안전을 최우선으로 하여 위험을 줄이고 생산성과 작업 품질을 높이는 것을 목표로 하며, SOP와 동등한 수준으로 회사에서 따라야 하는 지침이다(ISC, 2023). 그러므로 SOP와 '안전 및 보건 프로토콜(이하 안전보건 가이드 또는 가이드)'을 통합하면 공정품질뿐만 아니라 근로자의 안전까지 책임질 수 있다.

화학물질을 사용하는 모든 산업과 공정은 화학물질로 오염된 액체, 고체, 기체 부산물 또는 폐기물을 만든다. 그 중 제조 라인이나 단위 작업, 정비 작업에서 사용된 화학물질은 폐수처리시설이나 스크러버(scrubber), 흡착탑, 전기 집진기 등 대기오염방지시설로 이송되어 정화 과정을 거친 후 하천이나 대기 중으로 배출된다. 이뿐만 아니라 화학물질로 오염된 각종 고체나 액체 등의 유해화학물질 폐기물(이하 유해폐기물)이 공정에서 수시로 발생한다. 따라서 기업은 공정에서 유해폐기물을 안전하게 수거, 저장, 폐기하기 위한 안전보건 가이드를 마련할 필요가 있다.

공정 운영, 설비 정비, 기계 세척, 바닥 청소 등에서 발생하는 유해폐기물을 적절히 관리하지 않을 경우, 2차적으로 발생하는 화학물질 증기와 미스트 등이 근로자의 건강에 악영향을 미칠 수 있다. 또한, 화재와 폭발과 같은 안전사고, 공정 기계와 설비 손상, 화학물질 누출 사고, 환경오염 등의 문제가 발생할 위험이 커진다.

본 연구의 목적은 전자산업 클린룸 작업환경에서 발생하는 고체와 액체 상태의 유해폐기물을 안전하게 수거, 보관, 폐기하는 데 필요한 일반적인 안전보건 가이드를 개발하는 것이다. 이 가이드는 전자산업 클린룸뿐만 아니라 다른 공정에서도 유해폐기물을 안전하게 관리하는 데 활용할 것으로 판단된다. 본 유해폐기물 안전보건 가이드를 바탕으로 각 사업장에서 작업환경, 공정 특성, 화학물질의 특성 등을 반영하여 유해폐기물 안전보건 가이드를 개별적으로 개발해 사용할 것을 권장한다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 방법

본 연구와 관련된 연구 방법은 “전자산업 공정 설비 작업 안전보건 가이드 개발” 논문에서 설명했다(Lee et al., 2023). 핵심 연구 방법을 다시 설명하면, 먼저 문헌 고찰을 통해 전자산업 공정에서 발생하는 유해폐기

물을 수거, 보관, 폐기하는 과정에서 발생할 수 있는 일반적인 유해·위험 요인과 이를 관리하기 위한 구체적인 방안들을 포함한 안전보건 가이드 초안을 만들었다. 문헌 고찰 시 PubMed(<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), bing.com(<https://www.bing.com/>), MS Copilot 프로그램을 통해 관련 질문을 제시하고, 검색된 문헌 중 본 연구와 연관된 결과를 정리했다. 이후 사업장 방문과 전문가 자문을 통해 유해폐기물 안전보건 가이드 초안을 반복적으로 수정했다. 그리고 안전보건 전문가와 사업장 관계자의 추가 자문, 언어 전문가의 교정을 통해 가이드를 완성했다. 전자산업 유해폐기물 안전보건 가이드 전문은 부록에 첨부했으며, 여기서는 가이드의 핵심 목적과 내용을 설명했다.

### 2. 연구 범위

본 연구의 범위는 전자산업 클린룸에서 공정 운영 과정에서 발생한 고체와 액체 유해폐기물을 안전하게 수거, 보관, 폐기하는 방법을 개발하는 것이다. 폐수처리와 입자상 및 가스상 물질의 처리를 위한 가이드는 포함하지 않는다.

## III. 결 과

### 1. 유해폐기물 특성 파악

전자산업 제조 공정에서는 유기용제, 산, 알칼리, 산화제, 유독가스 등 다양한 화학물질이 사용되며, 이들은 공정 운전 중이나 설비 정비 작업에서 폐화학물질의 형태로 지속적으로 배출된다. 공정에서 배출되는 액체 화학물질은 배관을 통해 폐수처리시설로 이송되며, 입자상 및 가스상 물질은 주로 스크러버 등의 대기오염방지시설로 이동하여 정화된다. 그러나 사업장 내에 이러한 폐화학물질을 처리할 적절한 시설이 없거나 배출허용기준 이하로 정화 처리가 불가능한 유해폐기물은 외부 전문 처리 업체에 위탁 처리한다.

유해폐기물의 수거, 보관, 저장, 처리의 모든 과정을 안전하게 관리하기 위한 핵심 사항은 Table 1에 정리되어 있다. 먼저 유해폐기물의 화학적 성분과 물리화학적 특성을 파악하는 것이 중요하다. 이에 대한 정보는 전자산업의 공정 원리와 공정 기계, 설비와 정비 담당자로부터 얻을 수 있다. 그 외 유해폐기물의 안전한 관리를 위해 필요한 주요 항목에는 표준작업절차서, 유해

**Table 1.** Occupational safety and health(OSH) guidelines for managing hazardous wastes generated in the electronics manufacturing cleanroom

Items	Description/Requirements
Standard operating procedures (SOPs)	Develop and implement SOPs for the collection, storage, and disposal of hazardous wastes to ensure safety and consistency.
Identification of safety and health hazards	Collect information of wasted chemicals generated in the cleanroom, such as physical and chemical properties related to safety and health risks.
Risk assessment and control	Perform a detailed risk assessment to identify and control potential hazards associated with waste chemicals.
Work area preparation	Prepare the waste collection area by removing unnecessary materials and ensuring proper ventilation, while implementing access control measures.
Regulatory compliance	Ensure all practices adhere to local and central government regulations regarding handling, storage, and disposal of hazardous wastes.
Documentations	Prepare necessary documentation for tracking waste chemicals, including types, quantities, and handling procedures.

• 위험 인자 파악, 위험성평가, 화학물질 성상에 따른 저장 장소 구분과 격리, 관련 기록 보관 등이 포함된다.

## 2. 유해폐기물의 안전한 수거, 보관, 폐기

Table 2는 공정에서 발생한 유해폐기물을 사내에서 수거, 보관, 저장할 때 고려해야 할 주요 안전보건 사항을 정리한 것이다. 유해폐기물의 적절한 폐기와 관련된 주요 안전보건 사항들은 Table 3에 정리되어 있다. 각 공정에서 수거된 유해폐기물은 중간 또는 임시 보관소를 거쳐 공장의 중앙 저장소로 이송된다. 임시 보관소와 중앙 저장소는 작업 공정과 안전하게 격리하며, 반응성이 있는 폐기물은 서로 분리하여 저장한다.

폐기물 저장소는 환기를 충분히 한다. 특히 휘발성, 인화성, 독성이 강한 화학물질의 저장소는 별도의 환기 시설이 필요하다. 폐기물 용기에는 폐기물의 유해·위험성을 나타내는 라벨을 부착하고, 취급자는 안전교육을 받으며, 적절한 보호구를 착용한다. 작업자 교육에는 유해폐기물의 물리화학적 특성과 취급 요령뿐만 아니라, 유해폐기물이 누출될 경우 즉각적인 회수와 누출 차단(Figure 1 참조) 등의 비상조치 사항이 포함되어야 한다.

중앙 저장소는 시건장치로 일반인의 출입을 제한하고, 누출 방지를 위한 2차 봉쇄 트레이, 유출 방지 키트, 소화기 등을 비치한다. 인화성 물질 저장소는 화기와

**Table 2.** Major safety and health items for collecting and storing wasted chemicals

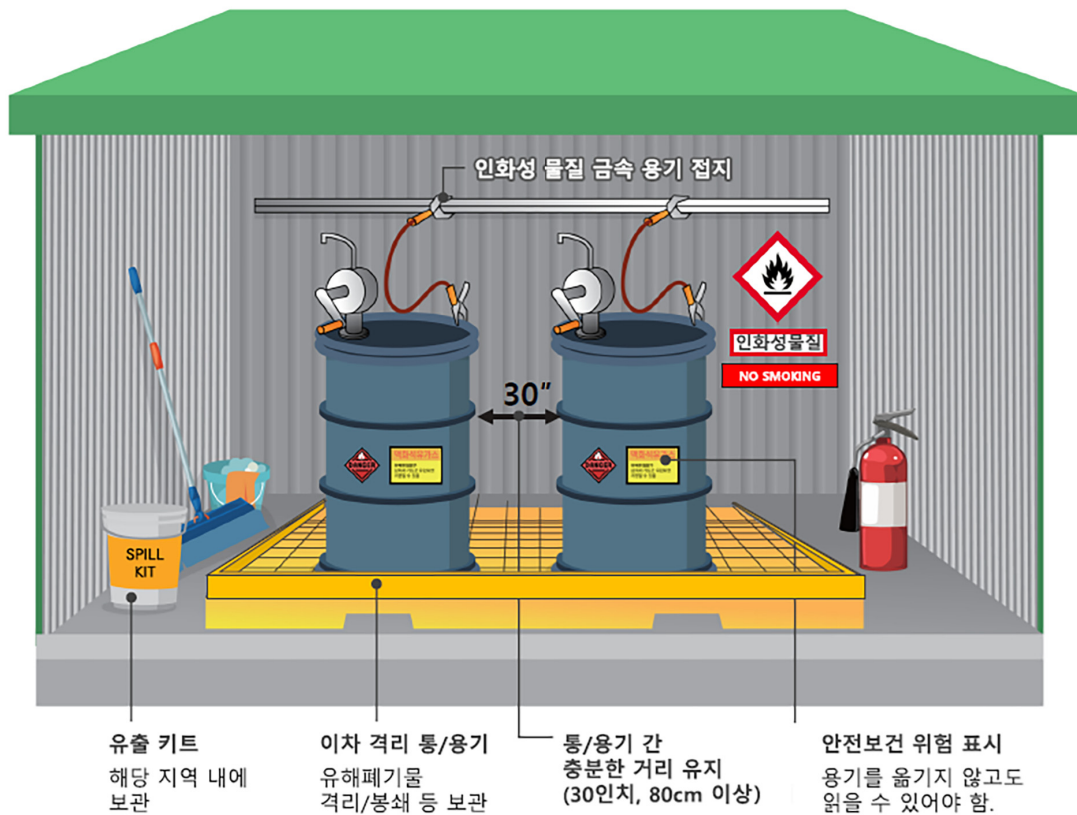
Item	Description/requirement
Personal protective equipment (PPE)	Use appropriate PPE, including gloves, goggles, lab coats, and respiratory protection, as necessary.
Labeling	Clearly label all waste containers with the type of chemical and hazard information.
Container integrity	Use leak-proof and corrosion-resistant containers for storage.
Storage location	Store waste chemicals in a designated secure area, away from flammable materials. Ensure that the storage area remains locked to restrict unauthorized access.
Access control	Restrict access to authorized personnel only.
Compatibility	Store incompatible chemicals separately to prevent hazardous reactions.
Ventilation	Maintain adequate ventilation in storage areas to minimize exposure to fumes.
Regular inspections	Conduct regular inspections to verify storage conditions and container integrity.
Training	Ensure personnel trained on proper handling and disposal procedures.
Emergency procedures	Have spill kits and emergency procedures readily accessible. Familiarize yourself with emergency procedures, including spill response and first aid.

**Table 3.** Key safety and compliance items for hazardous waste disposal

Item	Description/requirement
Following regulations	Ensure compliance with local, state, and federal regulations on hazardous waste disposal.
Use of authorized disposal services	Engage licensed hazardous waste disposal companies for proper disposal.
Documentation	Maintain accurate records of waste types, quantities, and disposal methods.
Safety procedures	Follow established protocols for handling and transporting waste to disposal facilities.
Training	Ensure personnel are trained in proper disposal procedures and emergency response.
Minimizing wasted chemicals	Implement waste reduction practices to limit the amount of hazardous wasted chemicals generated.
Disposal containers	Use designated containers for transportation to prevent leaks and spills.

**Figure 1.** Measures to prevent spillage of hazardous wastes during collection, transport, and storage by using spillage prevention kits





**Figure 2.** Engineering and administrative measures to store flammable wastes in central locations: earthing, secondary containment, ventilation and labelling, using appropriate containers, and maintaining safe distances between containers

정전기로 인한 화재나 폭발을 방지하기 위해 접지한다 (Figure 2). 중앙 저장소에서 일정 기간 보관한 후에는 법규에 따라 안전하게 공장 밖으로 이송하여 위탁 처리한다. 유해폐기물의 안전보건 유해 위험과 관리 방법에 대한 안전보건 가이드 전문은 부록에 제시했다. 가이드 전문을 참조하여 사업장과 공정별로 발생하는 유해폐기물의 특성을 고려하여, 구체적인 유해폐기물의 수거, 보관, 저장, 폐기 절차를 포함한 형태로 개발하고 사용할 것을 권장한다.

#### IV. 고 찰

본 연구에서는 전자산업 공정에서 발생하는 유해폐기물을 안전하게 수거, 보관, 폐기하기 위한 절차에 관한 안전보건 가이드를 개발했다. 주요 내용은 전자산업 클린룸 공정에서 발생하는 유해폐기물을 특성(예: 산, 알칼리, 산화제, 유기용제)별로 분류하여 적절한 용기에 수거하고, 화학반응과 환경 누출을 방지하기 위해 안전

한 장소에 보관한 후, 규정에 따라 안전하게 폐기하는 절차이다. 기업은 각자의 공정, 설비, 작업 특성 및 작업 환경에 따라 본 가이드를 수정, 추가, 발췌, 변형하여 안전보건 지침, 안전보건 교육, 현장 게시 등 다양한 목적으로 활용할 수 있다. 본 안전보건 가이드를 활용하는 데 참조해야 할 주요 내용은 다음과 같다.

첫째, 유해폐기물 수거, 보관, 저장, 폐기 시 발생할 수 있는 안전보건 유해 인자를 식별, 평가, 관리(control)하는 위험성평가를 실시하는 흐름으로 안전보건 가이드를 구성했다. 유해폐기물 관리에서 발생할 수 있는 주요 유해·위험 인자는 화학물질의 인체 노출, 화재, 폭발, 누출로 인한 환경오염 등이다. 이에 유해폐기물의 처리 과정에서 발생할 수 있는 유해·위험 인자를 안전하게 통제할 수 있는 방안들을 가이드에 포함했다.

둘째, 유해폐기물을 안전하게 관리하기 위한 필수 요소는 유해폐기물에 함유된 화학물질 간에 발생할 수 있는 화학반응으로 인한 화재, 폭발, 유독가스 방출 등의

안전사고를 예방하는 것이다. 공존할 수 없는 화학물질을 적절히 분리하여 보관하는 것이 유해폐기물 관리에서 가장 중요하다(Nandan et al., 2023). 즉, 화학물질을 보관과 관리의 편리성에 의해 구분하지 않고 물리화학적 특성에 따라 구분해서 보관한다. 예를 들어 아세트산과 크롬산, 암모니아와 염소, 과산화수소와 인화성 물질 등은 유독가스를 생성하거나 격렬한 반응을 일으키는 물질들이다. 일반적으로 산-알칼리, 산-금속, 산-시안화물로 보관하며, 산화제는 인화성 물질, 산, 염기, 화기 등과 격리하여 보관한다. 따라서 화학물질의 상호 반응성(chemical compatibility)에 따라 분리, 수거, 보관하면 위험한 반응을 방지할 수 있다. 유해폐기물에 포함된 각 화학물질의 물질안전보건자료(material safety data sheets, MSDS)를 확인하여 특정 반응성, 비친화성, 권장 보관 조건을 확인한다. 또한 모든 용기에 내용물과 위험 분류를 명확하게 라벨링하여 실수로 섞이는 것을 방지한다.

셋째, 유해폐기물의 특성에 따라 적절한 용기를 선택해서 사용한다. 부식이나 분해와 같은 화학반응을 방지하기 위해 특정 유형의 화학 폐기물과 반응하지 않는 용기를 사용하는 것이 중요하다(Datta, 2023). 일반적으로 산성 폐기물은 폴리에틸렌 또는 유리 용기, 알칼리성 폐기물은 고밀도폴리에틸렌(HDPE) 용기, 인화성 액체는 금속 용기, 부식성 물질은 테플론 또는 유리 용기가 적합하다. 특히 HDPE는 강한 염기에 잘 견디며, 분해나 변질을 방지할 수 있어 유해폐기물을 안전하게 보관하는 데 적합하다(UofMissouri, 2024).

넷째, 유해폐기물 저장소는 관계자 외 출입을 제한하고 외부와 격리하여, 용기나 저장소 밖으로 유해 증기가 새어 나오거나 누출되지 않도록 한다. 또한 화재와 폭발을 방지하기 위한 조치를 한다. 유해폐기물의 대기와 토양 누출은 환경오염을 유발하고 작업자에게 건강 위험을 초래할 수 있으므로, 적절한 환기와 2차 봉쇄 시스템(secondary containment system)을 설치한다. 일반적인 2차 봉쇄 시스템으로는 안전 보관 캐비닛, 번드(bund), 유출 팰릿(spill pallet), 드립 트레이(drip tray), 방유제(dike) 등이 있으며, 이들은 모두 화학물질 누출로 인한 환경오염을 방지하기 위해 설계된 장치들이다(DENIOS, 2024; HSE, 2024). 유해폐기물의 종류, 저장량, 저장소 크기에 따라 적합한 누출 방지 시스템을 사용한다. 인화성 물질은 정전기로 인한 화재 위험이 있으므로 저장 용기를 접지하고, 저장소에는 소화기를 비

치한다. 또한 유해폐기물의 임시 보관소나 중량 저장소에는 인화성, 폭발성, 건강 영향, 환경 오염 등을 나타내는 안전보건 위험 표지를 부착하고, 시건장치를 설치해 비관계자의 출입을 제한하는 행정적 조치를 한다.

다섯째, 유해폐기물을 취급하는 작업자에게는 정기적인 교육과 훈련이 필수적이다. 작업자는 안전한 수거, 운반, 저장을 위해 안전작업절차를 철저히 따르며, 화학물질의 인체 노출과 흡수를 방지하기 위해 적절한 보호구를 착용한다. 또한, 화학물질이 누출되었을 때의 비상 조치를 충분히 훈련 받는다. 특히 기업은 화학물질 유출이나 사고에 대비해 강력한 비상 대응 계획을 수립하고, 비상 상황에서 사용할 수 있는 장비를 구비하며, 실질적이고 반복적인 작업자 훈련을 통해 비상 대처 능력을 강화한다.

마지막으로, 유해폐기물의 발생을 최소화하고 재활용을 촉진하는 노력이 필요하다. 유해폐기물의 최소화과 재활용 전략을 실행하는 것이 기술적으로 어려울 수 있지만, 유해폐기물 발생을 줄이기 위해 반드시 필요한 과정이다. 전자 제조업체는 공정을 최적화하고 화학물질 재활용과 재사용을 고려하며, 유해화학물질을 안전한 화학물질로 대체, 효율적인 재고 관리, 에너지 효율적인 공정 도입, 규정 준수를 통해 유해폐기물 발생을 최소화할 수 있다(Treacy, 2020). 또한, 공정에서 발생하는 유해폐기물의 양, 종류, 취급 빈도, 시간, 비용 등을 표준에 맞게 기록 관리하여, 추후 유해폐기물 안전보건 가이드 개정의 근거로 활용할 수 있다. 이러한 기록은 유해폐기물 발생을 최소화하거나 재활용하기 위한 데이터를 제공할 수 있으며, 기업의 유해폐기물 관리 전략 수립에도 기여할 수 있다.

## V. 결 론

본 연구에서는 전자산업 공정에서 발생하는 다양한 유해폐기물의 안전한 수거, 보관, 폐기를 위한 일반적인 안전보건 가이드를 개발했다. 산업이나 공정, 설비와 관계없이 유해폐기물을 안전하게 관리하기 위해서는 폐기물의 특성에 맞는 수거, 안전한 보관, 적절한 폐기 과정이 필수적이다. 본 가이드의 주요 내용은 유해폐기물의 수거, 저장 과정에서 발생할 수 있는 안전보건 유해·위험 인자에 대한 위험성평가와 관리, 유해폐기물 특성에 맞는 용기, 취급 작업자 노출과 환경 누출을 방지하기 위한 공학적·행정적 조치, 작업자 교육과 훈련, 유

해폐기물 누출 등 비상시 조치, 저장 용기와 장소에 필요한 안전보건 위험 표시(labeling) 등이다. 유해폐기물의 특성, 발생 규모, 발생 상황에 맞게 각 기업에서 본 유해폐기물 안전보건 가이드를 참조하여 변형, 추가 개발해서 활용할 것을 권장한다.

## References

- Britannica. Standard operating procedure. [Accessed 2024 Nov 5] Available from: URL:<https://www.britannica.com/topic/standard-operating-procedure>
- Datta MG. Microbial technology for sustainable e-waste management. In: Debbarma P, Kumar S, Suyal DC, Soni R, editors. Electronic waste and their management strategies.. Springer; 2023. p. 45-61
- DENIOS. Spill pallets: What to consider when storing hazardous materials. [Accessed 2024 Nov 5] Available from: URL:<https://www.denios-us.com/resources/denios-magazine/mastering-secondary-spill-containment>
- HSE. Secondary containment. [Accessed 2024 Nov 5] Available from URL:<https://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeascontain.htm>
- ISC. Safe operating procedure (SOP). [Accessed 2024 Nov 5] Available from URL:<https://www.internationalsafetyconsultants.com/safe-operating-procedure-sop/>
- Lee S, Kim S, Zoh KE, Whang Y, Lee KH et al. Development of an occupational safety and Hhealth (OSH) guide for safely cleaning contaminated machinery, equipment, and parts used in the electronics manufacturing process. Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene. 2023;33(4):419-26. (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2023.33.4.419>)
- Nandan A, Suresh AC, Saole P, Jeevanasai SA, Chandrasekaran R et al. An integrated approach for electronic waste management – Overview of sources of generation, toxicological effects, assessment, governance, and mitigation approaches. Sustainability. 2023;15(24):16946
- Treacy S. Sustainable manufacturing strategies for reducing e-waste. [Accessed 2024 Nov 5] Available from URL: <https://insights.globalspec.com/article/13861/sustainable-manufacturing-strategies-for-reducing-e-waste>
- UofMissouri. Container selection. [Accessed 2024 Nov 5] Available from URL: <https://ehs.missouri.edu/haz/container-selection>

## <저자정보>

김소연(석사), 조경이(박사수료), 이승희(석사수료), 이경희(박사), 권세영(차장), 박동욱(교수)