

OSHRI : Practice

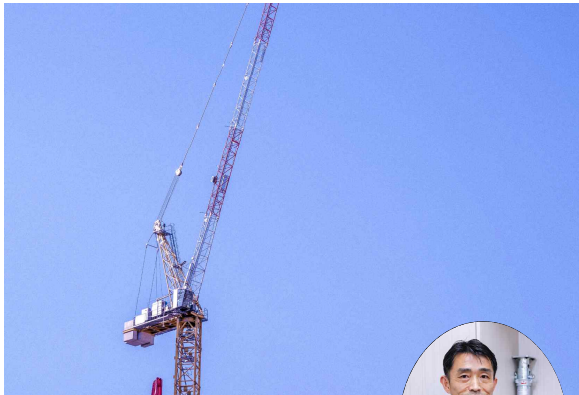
- 01. 원격조종(소형) 타워크레인 안전작업 매뉴얼 개발
- 02. 반도체 산업 관련 화학물질 노출에 대한 독성발현경로(AOP) DB 구축
- 03. 1,2-디클로로프로판 및 일산화탄소 측정 분석방법 안전보건기술지침 개발

OSHRI:Practice는 산업안전보건연구원이 연구사업을 통해 실제 정책반영, 지침개발, 제품생산 등 실용화된 사례를 소개합니다.

01

원격조종(소형) 타워크레인 안전작업 매뉴얼 개발

건설현장에서 타워크레인 사용 중 재해가 지속적으로 발생하고 있으며, 특히 원격조종 타워크레인 운전 중 사고발생 빈도가 높아지고 있다. 그러나 타워크레인 운전원 등을 위한 실용적인 안전작업 매뉴얼은 미흡한 실정이다. 이에 원격조종 타워크레인의 작업안전성 강화 방안 연구를 통해 타워크레인 재해원인분석, 국내·외 매뉴얼 분석, 현장 실태조사 결과 등을 반영하여 『원격조종 타워크레인 안전작업 매뉴얼』을 개발하였다. 동 매뉴얼은 관리감독자, 운전원, 신호수, 줄걸이 작업자가 반드시 숙지 및 준수해야 할 내용으로 구성되어 있으며, 책자로 제작되어 타워크레인 사용 사업장 등에 배포하였고, 안전보건공단 누리집에 게시하였다.



집필자
박주동 연구위원* | 산업안전보건연구원 산업안전연구실
박종용 교수 | 경기대학교 건설안전학과

연락처
052-703-0844 | likeacec99@kosha.or.kr

I. 배경

원격조종(소형) 타워크레인은 유인 타워크레인의 구조 및 안전장치와 다를 바 없으나, 운전석이 없어 운전원이 양중물을 확인할 수 있는 임의의 장소에서 신호수의 신호에 따라 휴대용 컨트롤러를 이용하여 조종하는 장비를 말한다. 원격조종 타워크레인을 포함한 타워크레인의 양중작업에서 최근 10년 간(2010~2019년) 줄걸이 오류, 위험장소 접근, 무전기-컨트롤러 사용 미숙, 신호 전달체계 오류 등의 원인으로 중대재해 30건을 포함하여 총 343건의 재해가 발생하였다. 이에 따라 원격조종 타워크레인을 이용한 작업과정에서 발생할 수 있는 재해를 예방하기 위해 관리감독자, 운전원, 신호수, 줄걸이 작업자가 반드시 숙지해야 할 안전작업 매뉴얼을 개발하여 실무 업무에 활용하는데 기여하고자 하였다.

II. 실용화 내용

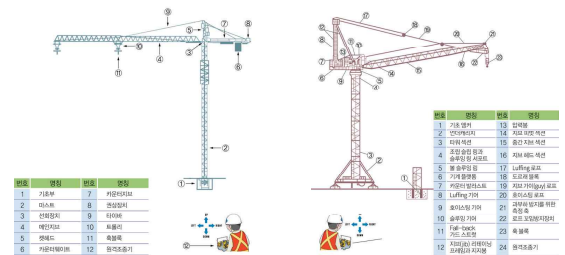
원격조종 타워크레인 안전작업 매뉴얼 개발

원격조종(소형) 타워크레인 작업안전성 강화방안 연구를 통해 국내·외 제도와 매뉴얼 분석, 재해원인 분석, 설문 및 실태조사 등을 통해 도출된 결과 및 시사점을 토대로 『원격조종(소형) 타워크레인 안전작업 매뉴얼』을 개발하였다. 동 매뉴얼은 일반사항, 운전원 매뉴얼, 신호수 매뉴얼, 줄걸이 작업자 매뉴얼 및 부록으로 구성되어 있다.

(1) 매뉴얼 일반사항

1) 타워크레인 주요 구조부위 명칭

원격조종(소형) 타워크레인은 T형과 러핑(L형)이 있으며, T형 타워크레인과 러핑(L형) 타워크레인의 주요 구조부위 명칭은 다음과 같다.

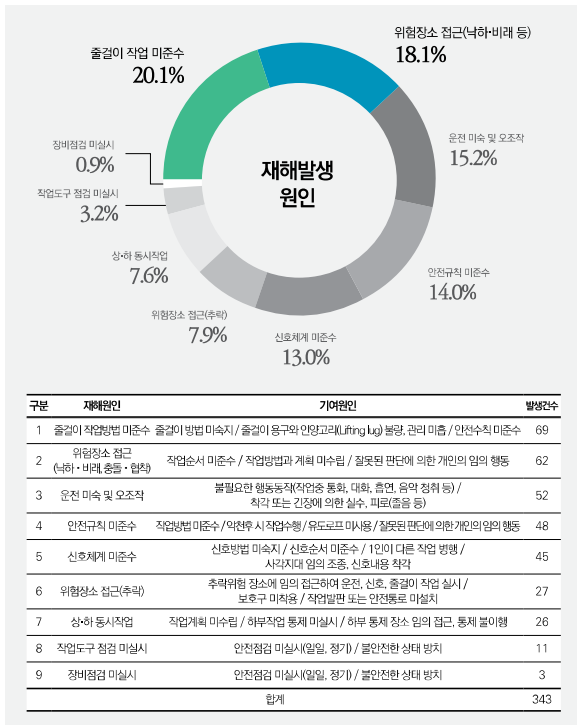


[그림1] T형 타워크레인

[그림2] 러핑(L형) 타워크레인

2) 타워크레인 재해발생 원인 및 현황

최근 10년간(2010~2019년) 타워크레인의 재해발생 원인, 발생건수와 점유율을 분석한 결과는 아래와 같으며, 출결이 작업방법 미준수(20.1%), 위험장소 접근(18.1%), 운전 미숙 및 오조작(15.2%) 등의 순으로 발생하였다.



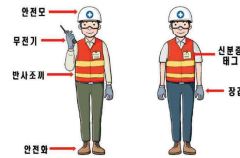
[그림3] 최근 10년간(2010~2019년) 재해발생 원인 및 현황

3) 관리감독자 준수사항

관리감독자는 작업 시작 전 중량을 취급계획서를 작성, 검토하고 이에 대한 위험성평가 실시 (대상 작업원 참여) 및 작업을 수행하는 작업원에게 위험요인과 예방대책을 주지시킨 후 작업을 진행해야 한다.

작업자의 자격과 복장 확인

- 운전원, 신호수, 출결이 작업자 각 직무별 자격 조건의 적합성 확인
- 운전원, 신호수의 복장 상태 확인



작업내용 숙지 상태 확인

- 운전원, 신호수, 출결이 작업자에게 주지시킨 내용을 반복하여 확인 후, 작업 중 예상되는 위험요인에 대한 재교육



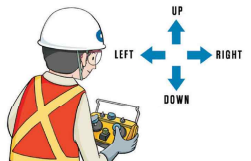
신호체계 확인

- 무선기 충전상태, 송수신 감도
- 신호 용어의 숙지상태(무전기, 수신호)



시운전 및 장애물 확인

- 기능별 정상 작동 여부
- 작업반경 범위의 통제 상태
- 운전 중 주변 장애물 유무



4) 무전기 신호 용어

무전기 사용 시 오조작 사고가 발생하지 않도록 운전원, 신호수, 줄걸이 작업자 모두 동일한 용어를 사용해야 하며, 1단 정지 후의 신호는 구체적인 거리를 명확히 표현하여 신호해야 한다. 예를 들면 "20cm 정도 천천히 내리고, 정지"와 같이 명확히 신호를 보내야 한다. 무전기 신호 용어에 대한 예시는 아래와 같다. 지상에서 자재를 건물 위로 올리는 신호는 다음과 같이 할 수 있다.

"올리고 1단 → 스톱(정지) → 잠시 대기 → 줄걸이 상태 확인 중입니다. → 예, 다시 올리고 1단입니다.
→ 이상 없는 경우, 올리고 3단까지, 00동 슬래브로 이동시켜 주세요."

물건을 올려 올릴 때	올리고 ↑	- 느린 속도, 천천히 올리는 신호 예 : 올리고 1단~ - 중간속도 : 올리고 2단 - 정상 속도 : 올리고 3단
물건을 아래로 내릴 때	내리고 ↓	- 정상 속도로 내리라는 신호 예 : ~! 내리고 3단까지 ▶ 내리고 1단 : (일정 팔팔) 느린 속도 ▶ 내리고 2단 : 중간 속도 ▶ 내리고 3단 : 정상 속도
물건을 수평이동 시킬 때	트롤리 안으로(T형) 마스트 안으로(L형) 트롤리 밖으로(T형) 마스트 밖으로(L형)	- 마스트를 중심으로 안으로 이동 - 마스트를 중심으로 밖으로 이동 * 러핑 크레인도 "마스트 안으로, 밖으로" 라는 신호로 통일 해야 오조작을 예방할 수 있다.
회전 이동 시킬 때	좌 스윙 우 스윙	- 마스트를 중심으로 좌측으로 수평이동(반시계 방향 수평이동) - 마스트를 중심으로 우측으로 수평이동(시계 방향 수평이동) * '현과 러핑 크레인 모두 동일하게 사용해야 한다.
움직이는 모든 동작을 멈추게 할 때	스톱 (STOP), 또는 정지	* 정지 이후, 상황을 운전원에게 반드시 전달하고, 줄걸이 상태 확인, 기타 필요한 확인 및 조치사항이 끝나면 예비신호를 알린 후 천천히 움직이도록 동작신호를 해야 한다.

[그림4] 무전기 신호 용어에 대한 예시

(2) 운전원 매뉴얼

운전원 매뉴얼은 크게 운전원의 역할과 자격, 운전원의 직무 및 운전원 재해예방 대책으로 구성하였다. 운전원은 크레인의 조종을 맡은 사람으로 신호수가 무전기로 송신하는 용어를 명확히 수신하여 크레인의 작업반경 내에서 컨트롤러 조종을 통해 양중물을 목적 장소로 안전하게 이동시키는 자로서 작업 시 반드시 안전수칙을 준수하며 작업해야 한다.

또한, 타워크레인의 대형사고 및 지속 반복되는 사고 예방을 위해 운전 시 반드시 준수해야 할 운전원 10대 금지사항을 작성하여 다음과 같이 제시하였다.

- 크레인 작업 종료 시 선외 브레이크 잠가 놓지 말 것**
⚠ 위험요인
1. 비임(강종)에 의한 장비 전도
- 양중물이 지면위에 있는 상태로 선외 통작을 금지**
⚠ 위험요인
1. 과부하에 의한 장비 전도 3. 작업자 충돌 위험
2. 축 제지장치 손상 4. 지브-신뢰장치 손상
- 피과 목적으로 크레인 사용 금지**
⚠ 위험요인
1. 관상용 외이어 이탈 2. 마스트 손상에 의한 전도
- 양중물을 끌어당길 작업 금지**
⚠ 위험요인
1. 과부하에 의한 장비 전도 3. 작업자 충돌 위험
2. 외이어, 슬링로프 파단 4. 지브-신뢰장치 손상
- 방수에 박힌 양중물 인양 금지 (철막, 천막대 등)**
⚠ 위험요인
1. 과부하에 의한 장비 전도 2. 외이어, 슬링로프 파단
- 불균형하게 배열된 양중물 인양 금지**
⚠ 위험요인
1. 줄걸이 고정부위 탈락 2. 불일치 하중 과다 발생
- 양중물을 작업반경 범위보다 벗어난 곳에 내려 놓으려고 고의로 충돌지 말 것**
⚠ 위험요인
1. 불일치 현상에 의한 충돌 위험 2. 관상용 외이어 손상 및 시브에서 이탈현상 발생
- 줄 걸이가 낙하한 상태로 지면에 내려 놓지 말 것**
⚠ 위험요인
1. 관상용 외이어의 시브에서 이탈로 인한 손상 2. 외이어가 떨어져 지면에 압착에 의한 변형
- 견하되는 범용 내에 작업자가 있는 경우 견하금지 (신호수, 줄걸이 작업자 포함)**
⚠ 위험요인
1. 작업반경 내의 양중물 낙하재해, 충돌-철적 재해 위험
- 양중물이 보이지 않게 되는 경우 조종금지 (단, 신호수의 신호에 따라 조종하는 경우 예외)**
⚠ 위험요인
1. 양중물이 낙하-비계, 인고 작업자와의 충돌-철적 재해 위험

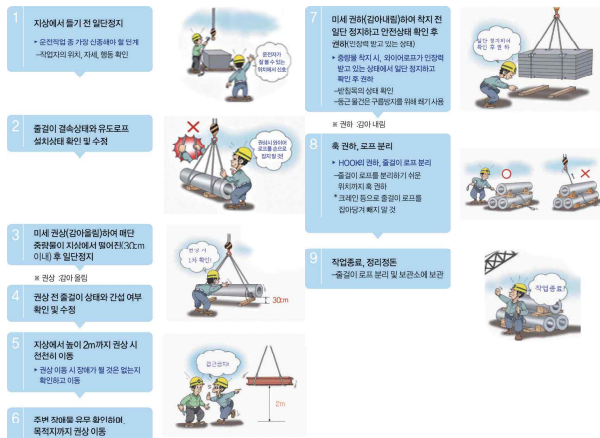
[그림5] 운전원 10대 금지사항

(3) 신호수 및 줄걸이 작업자 매뉴얼

신호수 매뉴얼은 신호수의 역할, 교육, 직무 및 신호수 재해예방 대책으로 구성하였으며, 줄걸이 작업자 매뉴얼은 줄걸이 작업자의 역할, 교육, 직무 및 줄걸이 작업자 재해예방 대책으로 구성하였다. 특히 신호수와 줄걸이 작업자의 이해를 돕기 위해 그림과 사진을 활용하여 「양중작업 3.3.3 지키기」 및 「양중순서 및 작업방법」을 아래와 같이 제시하였다.



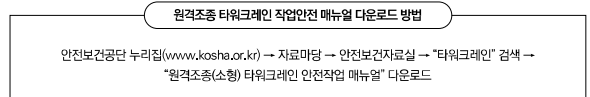
[그림] 양중작업 3.3.3 지키기



[그림] 양중순서 및 작업방법

원격조종 타워크레인 안전작업 매뉴얼 제작 및 배포

「원격조종(소형) 타워크레인 안전작업 매뉴얼」을 개발하여 건설업체 본사, 타워크레인 유관기관 등 187개소에 5,000부를 배부하였으며, 안전보건공단 누리집에 게시하여 무료로 다운로드 받을 수 있도록 하였다. 원격조종 타워크레인 작업과 관련된 분들이 등 매뉴얼을 반드시 숙지하여 안전수칙을 준수한다면 원격조종 타워크레인의 재해예방에 크게 기여할 것으로 기대한다.



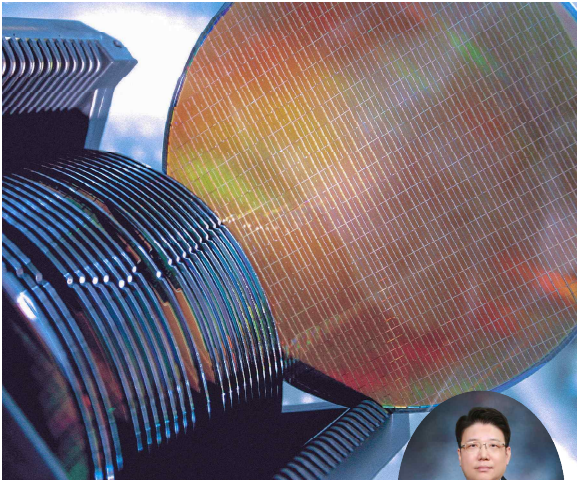
참고문헌

- 고용노동부, 안전보건공단, 원격조종(소형) 타워크레인의 작업안전 매뉴얼, 2021, 안전보건공단
- 박종용 등, 원격조종 타워크레인의 작업안전성 강화 방안연구, 2020, 산업안전보건연구원

02

반도체 산업 관련 화학물질 노출에 대한 독성발현경로(AOP)DB 구축

빅데이터를 활용한 사회이슈 해결, 반도체, 전자산업 관련 현안 해결 및 미래대응을 위하여 독성발현경로(AOP)에 대한 DB를 구축하였다. 특히 반도체공정 화학물질 만성·발암성 흡입독성시험 대상물질 선정 효율화를 위하여 사회적 이슈인 반도체, 전자산업 관련 화학물질 노출에 대한 독성발현경로의 구축에 대한 각 수준별 시험자료를 정리했다.



집필자
임경택 부장* | 산업화학연구실 시험기획부

연락처
042-869-8541 | rim3249@kosha.or.kr

I. 배경

반도체산업 화학물질이 사회적으로 큰 이슈가 되었음에도, 그 화학물질의 사용실태와 위험성을 제대로 파악하기에는 어려움이 있었다. 매년 반도체 기술이 발달함에 따라 사용되는 화학물질의 세부특성이 달라질 수 있고, 반도체의 생산량, 기술의 발전에 따라 화학제품의 종류와 양이 수시로 변하기 때문이다. 화학물질이 단일 성분으로 사용되기도 하지만 많은 제품은 혼합물의 형태로 사용되며, 반도체 공정 특성상 영업비밀 물질이 다수 포함되어 있다. 또한, 반도체 회사마다 사용하는 화학제품명이 다르고, 그 성분도 다르며, 반도체 산업의 기술보호 특성으로 인해 화학물질 정보가 공개되기 어려운 측면이 있다.

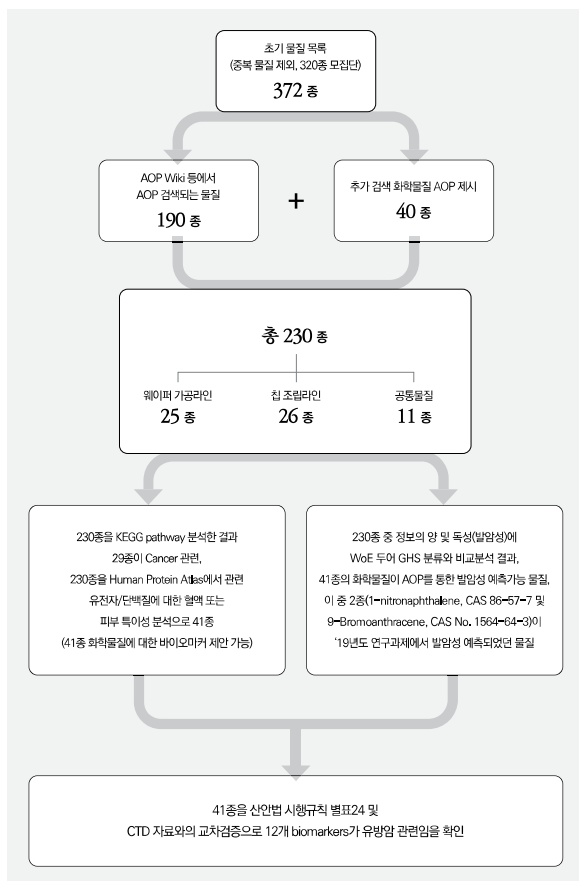
본 연구에서는 반도체산업 화학물질의 안전보건상 취약점들을 보완하고, 반도체산업 화학물질의 만성·발암성 흡입독성시험 대상물질 선정의 효율화를 기하기 위해, 반도체산업에서 취급하고 있는 기존 및 신규화학물질을 중심으로 그 화학물질의 생물학적 표적이 되는 "분자→유전자→세포→조직→병변→질병"의 각 수준별 주요현상관계(Key event relationship)에 대한 시험자료를 검색·분석 및 연계함으로써 인체 유해성평가의 효율화 방안을 마련하고자 하였다.

II. 실용화 내용

선행연구 분석 및 세부 연구결과

본 연구는 320종의 모집단 화학물질 중 독성발현경로(Adverse outcome pathway, AOP)가 검색되는 190종과 추가검색된 40종의 화학물질을 대상으로 AOP를 살펴보았다. 반도체산업 화학물질 중 직업성 질환 특이 바이오마커의 비교탐색(190종 중 41종)을 실시하였고, 산안법 시행규칙 별표24(특수·배치전·수시건강진단의 검사항목) 및 Comparative Toxicogenomics Database (CTD)¹⁾ 자료와의 교차검증을 통해 12개 바이오마커가 유방암 관련임을 알 수 있었다. 이에 직업성 질환 발생에 특이적인 50종의 화학물질에 대한 AOP를 제시하였다. 화학물질 발암성 추정도구로써 AOP 응용을 위해 단일물질과 혼합물질에서의 응용가능성을 고찰하였으며, 반도체산업 화학물질에 의한 직업병 발생의 병리학적 및 안전관리적 예방(안)을 제시하고, 화학물질 예측독성평가 사업에 활용 가능하도록 하였다.

1) <http://ctdbase.org/>



[그림1] AOP DB 구축, AOP 제안 작업과정의 체계도

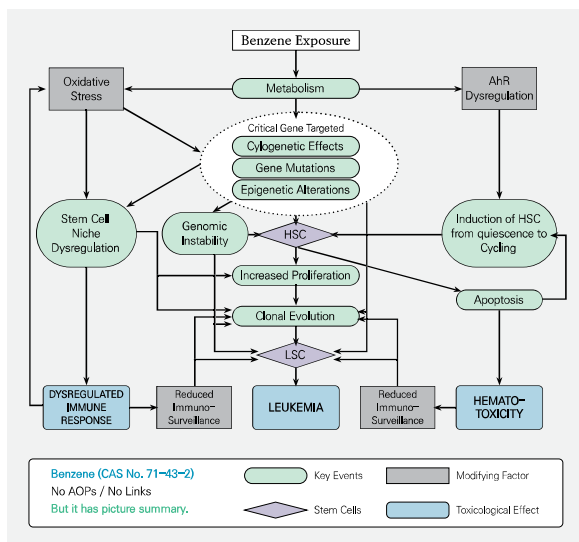
1) 반도체산업 공정별 자료검색 및 입력으로 분석내용을 정리했으며, 독성발현경로(AOP)를 검색하고 및 동일 AO, 공정, 유해성에 대한 분석을 수행하였다. 또한 AOPwiki¹⁾, AOP-KB²⁾를 통하여 기존 AOP를 확인한 후 검증하였고, 반도체산업 화학물질의 AOP 분석에 사용한 사이트들을 정리하였다.

동일 AO	· 459 increased, Liver Steatosis · 1193 N/A, Breast Cancer · 1136 Impaired recruitment, Population trajectory · 505 Decreased sperm quantity / quality in the adult, Decreased fertility · 719 Increase, Adenomas/carcinomas(hepatocellular) · 947 Increase, Early Life Stage Mortality · 972 Decreased fertility, Reduced number of oocytes ovulated
동일 공정	· 공정 전반 1종 · 웨이퍼 가공라인 18종 – 건식 식각 1종, 습식 식각 2종, 이온주입 공정 1종, 포토 공정 13종, CVD 2종 · 칩 조립라인 31종 – 후면연마공정 3종, 칩 집착 3종, 몰드 공정 11종, 인쇄 공정 1종, 솔더볼 부착 공정 3종, 테스트 공정 2종, 세정/세척 4종, 유지보수 1종, 기타 3종 · 기타 추가물질 등
동일 유해성	· 유사 질병 및 기전 · 동일 표적 장기 · 동일 바이오마커 등

[그림2] 반도체산업 화학물질의 AOP 분석개요

2) 이를 통해 48종 화학물질에서 11개의 AOP(AOP_36, 58, 60, 61, 66, 107, 150, 153, 163, 187, 200)가 있음을 알 수 있었다. 단, 벤젠(Benzene) 노출로 인한 독성현상의 경우 개략도는 있지만, AOP는 아직 개발되어 있지 않음을 확인하였다.

1) <https://aopwiki.org/>2) <https://aopkb.oecd.org/index.html>



[그림3] 벤젠의 노출로 인한 독성발현경로 개략도

- 3) 반도체산업에서 발생한 업무상 질병에 대한 인경 사례와의 상관성을 분석하기 위해 위 참고문헌의 내용을 분석 고찰하였고, 대표적인 인경 사례를 찾을 수 있었다. AOP 추가 DB 검색으로 스트레스 요인의 독성발현경로(stressor AOP, sAOP) DB 내용을 입력하였으며, 103종의 화학물질이 AOPs를 갖고, 26종은 반도체업종에서 사례증거(Case evidences)를 갖는다는 것을 알 수 있었다.
- 4) AOP 분석 결과를 엑셀 프로그램으로 정리하였다. 전체 320종의 화학물질은 42개 AOPs를 갖고, 주요 190종 화학물질이 11개 AOPs에 해당함을 알 수 있었으며, '19년도 연구(반도체업종 화학물질의 in silico 독성예측) 결과물과 비교하여 아래 사항을 알게 되었다.
- 변이원성(복귀돌연변이 by Derek & Sarah-Nexus, Danish, Vega, TEST, (TPA), OECD Toolbox)의 경우, (19년도 연구의) 모든 프로그램에서 양성으로 예측된 물질 8종 중 4종이 해당 AOPs가 있고, 발암성(By Derek & Sarah-Nexus, Danish, Vega)의 경우, 모든 프로그램에서 양성으로 예측된 물질 11종 중 2종이 해당 AOPs가 존재했다.

자문회의 및 이를 반영한 보완 추진

- 1) AOPwiki에 AOP가 구축되어 있는 화학물질에 증거의 가중치(Weight of evidence)¹⁾를 주어 재분류한 190개 물질에 대해, CTD, pathway studio²⁾, sAOP³⁾ 상에서 검색되는 data 및 참고문헌 내용을 분석하여 중심 사건(key events, KE)으로 사용하도록 했다.
- 2) 상기 190개 물질에 대해, CTD 및 Pathway Studio 상에서 검색되는 자료 및 참고문헌 내용을 분석하여 유사성(예: 동일 생물종, 표적 기관, 경로 등)을 분류하고, 중심사건 관계(key event relationship, KER) 타당성 분석을 통해 참고문헌의 실험적 결과를 수집하고 분석하여 KE, KER에 대한 근거자료로 제시하였다.
- 3) 추가적으로 각 화학물질들에 대한 정보 및 독성 기준을 분류하여 증거의 가중치(WoE) 근거자료로 별도 정리하였다.

추가 AOP 검색 및 교차검증

- 1) AOP Exploratory Research Assistant(AOPERA)의 각 단계별 도구를 활용하여 부가적인 연구결과들을 얻을 수 있었다.
- 2) AOP 체계화를 위한 추가정보의 검색(190종에 대한 사람 및 실험동물 관련 문헌 등 자료 조사)을 CTD, ATSDR⁴⁾, sAOP 등의 DB를 활용하여 수행하였으며, 이상의 결과물들을 종합함으로써 AOP 자료의 체계화를 이루고자 하였다.

AOP 자료의 체계화

- 1) 190종 화학물질과 사람 및 실험동물에서의 혈액 조직병리, 병변, 기관, 개체의 질병과 연계하여 자료(40종)를 구축하고 고찰하였으며, 공통인자(공정별 시험자료, 바이오마커⁵⁾, AOPs, 질병 등) 선별 고찰하였고,
- 2) 반도체산업 화학물질 관련 특이 바이오마커의 제안으로, AOPs에서 전사체인 mRNA 발현의 응용과 더불어 바이오마커로서의 활용 가능성을 검증하였다. 직업성 질환 특이적 AOPs 분석 및 KER을 제시하고 생물분류학적(Taxonomic) 분류, 화학물질 발암성 추정도구서의 AOPs 분석 결과를 제시하였다.

1) 관련 정보의 중요도 및 개수에 기초한 자료 분석 방법

2) <https://www.pathwaystudio.com/>

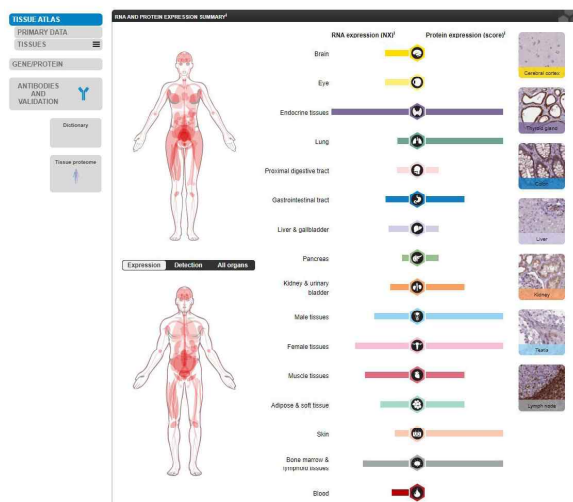
3) <http://saop.cpr.ku.dk/>

4) <https://www.atsdr.cdc.gov/>

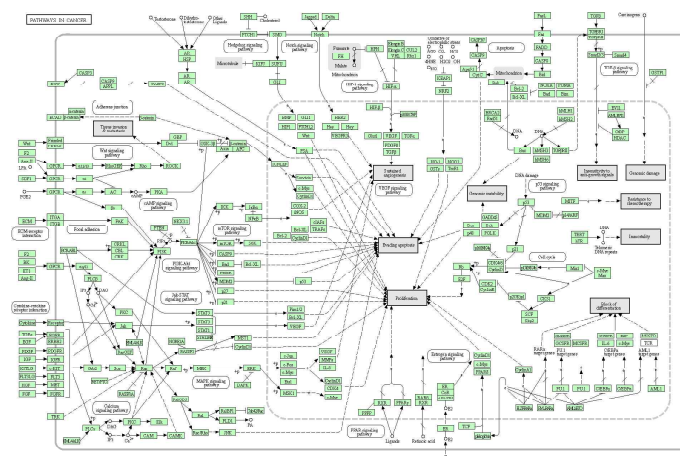
5) 정상적인 생물학적 과정, 질병 진행 상황, 치료법에 대한 약물의 반응성은 객관적으로 측정하고 평가할 수 있는 지표

3) 반도체산업 화학물질 직업성 질환 특이적 바이오마커를 비교탐색(190종 중 41종)하고, 산안법 시행규칙 별표24 및 CTD 자료와의 교차검증(12개 바이오마커가 유방암 관련)을 수행 하였다.

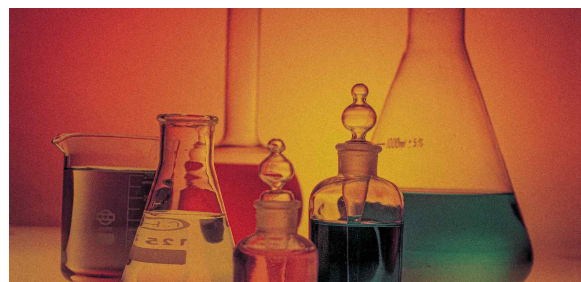
4) 반도체산업 화학물질(50종)로 인한 직업성 질환 특이 AOPs 분석 및 KER을 제시하였으며, 각 AOPs 분석을 생물분류학적으로 구분할 수 있었다.



[그림4] 혈액, 조직병리, 병변, 장기 및 각 질병별 링크들
출처 | The Human Protein Atlas

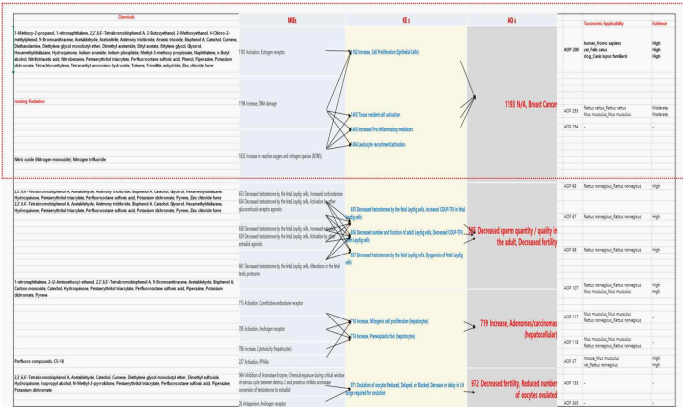


출처 | KEGG (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes), <https://www.kegg.jp/>



단일 물질과 혼합 물질

1) 단일물질에 대한 AOP는 화학물질 관련 정보의 양과 질에 상당히 의존하며, 또한 동 AOP의 신뢰도가 높아야 이를 바탕으로 다른 화학물질의 AOP를 추론할 수 있는 양상을 보여, 마치 "피부우스의 띠"를 연상케 하였다. 혼합물질의 AOP에서는 각 화학물질이 갖는 독성영향들의 관계성(KER) 및 종말점(AO)의 파악을 용이하게 하는 것으로 판단되며, 정보 및 독성 기준별 분류를 통한 WoE (증거의 가중치) 근거자료들을 별도 정리하였다.



[그림6] 직업성 질환 특이적 AOPs 분석 및 그와 관련된 Key event들의 제언
관련 참고사이트 링크 |

AOP 200	https://aopwiki.org/aops/200	AOP 107	https://aopwiki.org/aops/107
AOP 293	https://aopwiki.org/aops/293	AOP 117	https://aopwiki.org/aops/117
AOP 294	https://aopwiki.org/aops/294	AOP 118	https://aopwiki.org/aops/118
AOP 66	https://aopwiki.org/aops/66	AOP 37	https://aopwiki.org/aops/37
AOP 67	https://aopwiki.org/aops/67	AOP 153	https://aopwiki.org/aops/153
AOP 68	https://aopwiki.org/aops/68	AOP 345	https://aopwiki.org/aops/345

추가 자문 및 이를 반영한 보완 추진

- 1) 발암관련 AOP 개발은 저단위, 장기간 노출(low dose, long-term exposure)이 고려되어야 하므로 실제 연구사업 시작 시에는 가능한 단순한 AOP부터 시작하는 것이 권장된다. 본 연구에서는 발암관련으로 AOPwiki에서 검색되는 AOP_107과 AOP_200을 기본 틀로 하여 추가적인 정보인 Key events를 데이터베이스화하였다.
- 산업현장에서 사용되는 화학물질에 대한 정보를 기반으로 복합 AOP 개발과 노출 시나리오(복합노출)를 확보해야 하며, 참고문헌¹⁾에서 도출한 반도체산업 화학물질 중 그 노출 시나리오(Exposure scenario: ES)를 구체적으로 나타낼 수 있는 화학물질들에 대한 노출 시나리오를 설명했다.

제언

- 1) 발암 위험요소의 식별을 위한 노동자 의료 및 건강 정책이 필요하다. 일차적 예방 대책으로는 개인 상담을 통한 고위험군 노동자를 평가하고 암을 조기에 발견해야 한다. 이는 노동자 건강 스크리닝의 기본 목적으로, 사망 위험이 더 높은 노동자와 낮은 노동자를 구분하여 선별 검사를 수행하는 것이 비용 효율적이다. 따라서 노동자의 인식 향상을 제고하여 참여도를 높여나가는 것이 중요하다.
- 이를 위한 제언으로 산업위생분야 일부 유해인자에 대해 정량적이고 기술적으로 측정하여 관련 노동자 직무 활동의 기록을 포함하여 관련 직업성 질환의 예방과 보상에 활용 할 수 있다.
- 2) 위험에 대한 인식, 공학적 제어 및 작업관행 개선, 개인보호구 착용 등 암 예방 및 조기 발견의 노력과 정밀(분자) 암 예방 연구의 활성화가 필요하다.
- 3) 화학물질 취급사업장 노동자 및 안전보건관리자 등 화학물질 관련 정책입안 기관(고용노동부, 산업통상자원부 등)에 제공할 수 있다.
- 관련분야 SC급 논문게재 및 국내외 학회발표, 제도화 방안 모색에 활용가능하며, 향후 전산기법을 활용한 화학물질 예측독성평가 교육 및 후속연구 추진에 활용 가능하다.

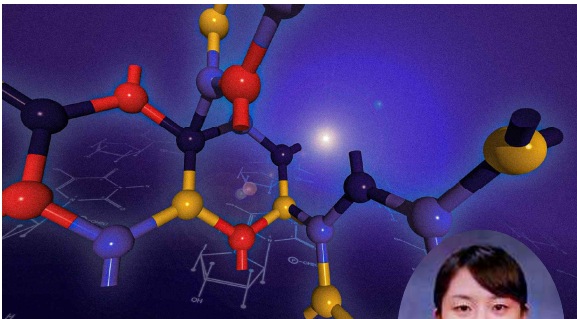
1) 김수근 등, 화학물질 노출 시나리오 정보 제공을 위한 표준모델 작성, 안전보건공단 산업안전보건연구원 위험연구용역과제(연구월 2007~110-1035), 2007

03

1,2-디클로로프로판 및 일산화탄소 측정 분석 방법 안전보건기술지침 개발

2020년 산업안전보건법 개정에 따라 허용기준 설정 유해인자로 새롭게 추가된 1,2-디클로로프로판과 일산화탄소의 시료 채취 및 분석에 대한 안전보건기술지침(KOSHA GUIDE)을 개발하였다.

허용기준 설정 유해인자는 발암성 물질 등 근로자에게 건강장해를 유발할 우려가 있는 유해인자로서 대통령령으로 정하며, 이를 사업주가 작업장 내의 노출 농도를 허용기준 이하로 유지하기 위해서는 작업환경측정 분석 방법이 필요하다. 허용기준 설정 유해인자는 2020년 3월 산업안전보건법이 개정되면서 24종이 추가되어 총 38종으로 대폭 확대되었다. 이에 따라 산업안전보건연구원은 추가된 허용기준 설정 유해인자 중 측정분석방법이 없거나 명확하지 않은 1,2-디클로로프로판과 일산화탄소의 시료채취 및 분석에 관한 안전보건기술지침을 개발하였다. 국내에 상용화되지 않은 측정매체 및 검출기를 사용하는 측정 분석방법을 보완 및 검토하여, 허용기준 초과여부 감독 및 노출수준의 관리가 가능토록 하여 작업환경측정 분석 결과의 신뢰성 향상에 기여하고자 하였다.



집필자
노지원 연구원*, 조현민 연구원, 박승현 실장 | 산업안전보건연구원 작업환경연구실

연락처
052-703-0887 | rojiwon@kosha.or.kr

I. 개요 및 배경

산업안전보건연구원은 2017년도에 '허용기준 설정대상 유해인자 선정을 위한 유해성·위험성 평가 및 사회적·경제성 평가 연구'를 통해 근로자에게 중대한 건강장해를 유발할 우려가 있거나 급성중독 발생위험이 있는 화학물질 26종을 선정하여 허용기준 이하 유지대상 유해인자 선정을 위한 유해성·위험성 순위를 평가하였다. 이를 바탕으로 2020년 3월 산업안전보건법이 개정되면서 시행령 별표의 허용기준 이하 유지대상 유해인자가 총 38종으로 확대 시행되었다.

[표 1] 허용기준 설정 유해인자 목록

연번	물질명	CAS번호	허용기준		개정 전	개정 후
			TWA	STEL		
1	납 및 그 무기화합물	7439-92-1	0.05 mg/m ³		○	○
2	니켈(불용성 무기화합물)	7440-02-0	0.2 mg/m ³		○	○
3	디메틸포름아이드	68-12-2	10 ppm		○	○
4	벤젠	71-43-2	0.5 ppm	2.5 ppm	○	○
5	2-브로모프로판	75-26-3	1 ppm		○	○
6	석면	1332-21-4	0.17%/cm ³		○	○
7	6-기브로 화합물	18540-29-9	불용성(0.01 mg/m ³) / 수용성(0.05 mg/m ³)		○	○
8	이황화탄소	75-15-0	1 ppm		○	○
9	카드뮴 및 그 화합물	7440-43-9	0.01 mg/m ³ (호흡성 0.002 mg/m ³)		○	○
10	플루오렌-2,4-디아민시아미네이트	584-84-9	0.005 ppm	0.02 ppm	○	○
11	플루오렌-2,6-디아민시아미네이트	91-08-7	0.005 ppm	0.02 ppm	○	○
12	트리클로로에틸렌	79-01-6	10 ppm	25 ppm	○	○
13	포름알데하이드	50-00-0	0.3 ppm		○	○
14	노말렉산	110-54-3	50 ppm		○	○
15	니켈카르보닐	13463-39-3	0.001 ppm		-	○
16	디클로로메탄	75-09-2	50 ppm		-	○
17	1,2-디클로로프로판	78-87-5	10 ppm	110 ppm	-	○
18	망간 및 그 무기화합물	7439-96-5	1 mg/m ³		-	○
19	메탄올	67-56-1	200 ppm	250 ppm	-	○
20	메틸렌(비스옥스) 이소시아나이드	101-68-8	0.005 ppm		-	○
21	백린올 및 그 화합물	7440-41-7	0.002 mg/m ³	0.01 mg/m ³	-	○
22	1,3-부타디엔	106-99-0	2 ppm	10 ppm	-	○
23	브롬화 메틸	74-83-9	1 ppm		-	○
24	신화세틸렌	75-21-8	1 ppm		-	○
25	수은 및 그 무기화합물	7439-97-6	0.025 mg/m ³		-	○
26	스티렌	100-42-5	20 ppm	40 ppm	-	○
27	사클로헥산	108-94-1	25 ppm	50 ppm	-	○
28	아닐린	62-53-3	2 ppm		-	○
29	아크릴로니트릴	107-13-1	2 ppm		-	○
30	알도나아	7664-41-7	25 ppm	35 ppm	-	○
31	염소	7782-50-5	0.5 ppm	1 ppm	-	○
32	염화비닐	75-01-4	1 ppm		-	○
33	일산화탄소	630-08-0	30 ppm	200 ppm	-	○
34	코발트 및 그 무기화합물	7440-48-4	0.02 mg/m ³		-	○
35	폴타르피치 화합물	65996-93-2	0.2 mg/m ³		-	○
36	플루오렌	108-68-3	50 ppm	150 ppm	-	○
37	트리클로로에탄	67-66-3	10 ppm		-	○
38	황산	7664-03-0	0.2 mg/m ³	0.6 mg/m ³	-	○

허용기준 이하 대상 유해인자는 사업장에서 넘어서는 안되는 유해인자의 농도를 설정해 놓은 것으로 이를 위반하였을 경우 1천만원 이하 과태료 대상이 된다. 따라서 작업환경측정 농도를 알아보기 위한 측정 분석방법이 일원화되어야 사업장에서 대상 물질 농도의 관리가 쉬우며 고용노동부의 관리감독도 일관적으로 유지할 수 있다.

38종의 허용기준 이하 유지 대상 유해인자 중 국내 작업환경측정 안전보건기술지침(KOSHA GUIDE)에 측정 분석방법이 없는 물질은 1,2-디클로로프로판과 일산화탄소이다. 1,2-디클로로프로판의 기존 측정 분석방법은 NMAM 1013으로 Anasorb tube 매체를 이용하여 측정하고 가스크로마토그래프의 ELCD(Electrolytic Conductivity Detector)로 분석하는 것을 제안하였으나, 이는 국내에서 거의 사용되지 않는 매체와 검출기로서 실용적인 측정 분석방법이 필요하였다. 따라서 국내에서 주로 사용되는 매체 및 검출기를 2가지씩 선정하여 실험하고 가장 적절한 방법을 찾고자 하였다. 일산화탄소는 적용 가능한 국내의 측정 분석 방법들을 검토하여 여러 가지 방법 중 농도의 정확성과 실용성을 갖춘 측정 분석 방법을 모색하였다.

II. 실용화 내용

1,2-디클로로프로판의 안전보건기술지침 개발

(1) 매체 저장안정성 테스트

1,2-디클로로프로판 측정매체로서 Anasorb 747 및 CSC 활성탄관을 이용하여 한 달간 저장안정성 테스트한 결과, 두 매체의 회수율은 82.9~101.6% 수준으로 미국국립산업보건연구원(NIOSH)와 미국산업안전보건청(OSHA)의 가이드에 있는 기준(회수율 75% 이상)을 만족하였다.

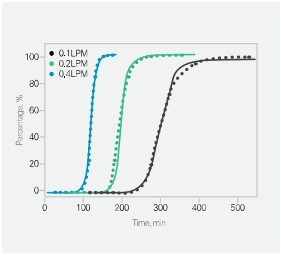
(2) 매체 적정포집유량 테스트

두 가지 매체가 포집할 수 있는 1,2-디클로로프로판의 적정채취량(L)은 노출기준인 10 ppm를 기준으로 하여 0.1 L/min, 0.2 L/min, 0.4 L/min 유량으로 채취하면서 매체별 파과곡선을 그려 선정하였다. Anasorb 747 및 CSC 활성탄관 매체 모두 2~30 L의 채취량으로 1,2-디클로로프로판 측정에 적합하였다.

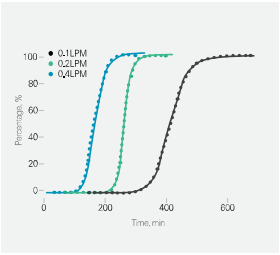
[표2] 매체별 파과실험 결과 (단위: L)

매체	유량(L/min)			평균	비고
	0.1	0.2	0.4		
CSC tube	28.1	30.3	28.1	28.8	뒷층 검출시점
	34.6	36.4	40.2	37.0	파과*
Anasorb tube	35.1	37.6	32.2	34.9	뒷층 검출시점
	47.2	49.3	48.5	48.3	파과

* 파과 : 채취매체 뒷층에서 앞층의 10%에 해당하는 물질량이 검출되는 시점



[그림1] CSC tube를 이용한 파과실험 결과



[그림2] Anasorb tube를 이용한 파과실험 결과

(3) 검출기 검출한계 테스트

불꽃이온화검출기(Flame Ionization Detector, FID)와 전자포획검출기(Electron Capture Detector, ECD)를 이용하여 실험한 1,2-디클로로프로판의 검출한계는 0.0023~0.0057 mg/mL 수준이었으며 불꽃이온화검출기를 이용한 분석의 직선성이 더 우수하였다.

(4) 시료채취분석오차(SAE)

허용기준 준수여부 평가 시 사용되는 시료채취분석오차(SAE)는 분석 정밀도와 시료채취용 펌프의 변이(5%)를 적용하여 95% 신뢰구간($\pm 1.96 \times \text{SEF}$)으로 계산하였으며 산출 결과 CSC tube는 0.100, Anasorb tube는 0.098로 계산되었다.

위 실험 결과를 바탕으로 1,2-디클로로프로판의 측정매체 및 분석기술은 CSC Tube 측정, 이황화탄소 탈착, FID분석과 Anasorb tube 측정, 15% 아세톤을 함유한 시클로헥산 용매, ECD 분석의 조합을 제안하였다.

일산화탄소의 안전보건기술지침 개발

일산화탄소의 측정기술은 크게 직독식 장비, 가스크로마토그래피, 검지관 및 패시브 도시미터법으로 나누어 볼 수 있으며, 주로 사용되는 방법은 비분산적외선 및 전기화학식 센서를 이용한 직독식 장비법이다. 비분산적외선 센서의 경우 일산화탄소의 특징적인 적외선을 흡수하므로 간섭이 적다는 장점이 있었으나 장비의 크기와 무게 때문에 주로 지역시료채취 분석에 사용되었다. 전기화학식 센서는 낮은 전력에 작은 크기로 측정이 편리하여 개인시료채취가 가능하다는 장점이 있었다. 가스크로마토그래프 분석은 일산화탄소를 저농도로 검출 가능한 방법이지만 한 가지 가스상 물질 분석을 위해 장치를 추가적으로 구비해야 한다는 점이 단점으로, 숙련된 분석자가

필요하다. 검지관 및 패시브 도시미터를 이용한 측정 방법은 편리하지만 정확한 농도를 알 수 없다는 단점이 있었다.

국내외 일산화탄소의 측정분석방법을 비교하면 OSHA ID-209와 NMAM 6604의 전기화학식 센서, EPA는 비분산적외선 센서 방식의 직독식장비의 사용을 제시하였으며 사무실 공기관리 지침, 대기오염 공정 시험기준, 실내공기질 공정시험기준에서는 두 가지 센서 모두 사용가능한 직독식장비를 제시하였다. OSHA ID-210에서는 가스크로마토그래프 방전이온화검출기를 사용하는 분석법을 제시하였다.

따라서 국내에서 사용 가능한 측정분석 기술 및 편의성을 고려하여 일산화탄소의 측정분석방법은 비분산적외선 및 전기화학식 센서를 이용한 직독식 장비법을 제안하였다.

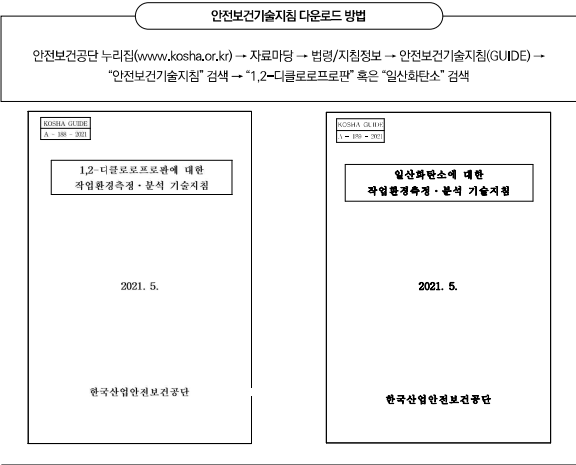
[표3] 국외 일산화탄소 측정분석방법

구 분	OSHA ID-209	OSHA ID-210	NMAM 6604	EPA 10
측정방법	전기화학식센서 휴대용 가스검지기	일루미네코팅시료 채취벽	전기화학식센서 휴대용 가스검지기	테들러 백/ 직접 측정 가능
분석장비		가스크로마토그래프, 방전이온화검출기(DID)		비분산적외선방식 센서 가스검지기
정확도	0.040-0.041	0.038(CV)	±6.0%	스팬교정 농도의 2% 미만
응답속도	1분 소수점 첫째자리 결식하여 정수로 저장	-	-	reading Liters/min
유량	해당 장비에서는 0.2 L/min	0.01-0.05 L/min(sampling)	장비별 조건에 따라 맞춤	0-1.0 L/min
검교정	-	6개 농도의 표준가스를 제조하고 4일 후 분석	주로 20, 50 ppm 스펜가스 사용	측정대상 농도의 20-100% 수준의 스펜가스 사용
작동온도	0-40℃	-	-	검출기 작동온도 3% 이내 범위
사용권장온도	10-30℃	-	-	-
적용범위	0-999 ppm	17.2-63.6 ppm	0-200 ppm	-
연구범위	16.1-70.2 ppm(TWA) 197.8 ppm(C)	0.12-430 ppm	0-200 ppm	-
전체 오차	±9.6%	±10.8%	-	교정 시 0.5 ppm 이내여야 함
LOD	1.2 ppm(정성) 4.1 ppm(정량)	0.40 ppm	1 ppm	-
간섭물질	알콜류, 아세톤	-	다른 가스상 물질	적외선 에너지 흡수 강한 물질

III. 기대 효과

1,2-디클로로프로판과 일산화탄소는 작업환경측정 대상물질이지만 측정분석방법이 명확하지 않았다. 1,2-디클로로프로판의 경우 기존 측정 분석방법에 없던 CSC tube 및 FID 분석을 제시함으로써 보다 저렴한 매체를 사용할 수 있도록 하였으며, 일산화탄소는 직독식 장비법을 제시함으로써 가스상 물질을 직독식 장비로 측정하는 측정분석방법을 국내 처음으로 만들었다는 데 의의가 있다.

본 연구를 통해 제정한 안전보건기술지침을 활용하여 허용기준 초과여부 감독 및 노출수준 관리가 원활해질 수 있으며, 작업환경측정기관의 올바른 노출평가로 쾌적한 작업환경을 조성하고 근로자 건강보호에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.



참고문헌

- 고용노동부 고시 제 2020-48호, 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준, 2020
- 노지원, 조현민, 박승현, 산업법 개정에 따른 허용기준 설정 유해인자의 시료채취 및 분석방법 -1,2-디클로로프로판, 일산화탄소, 산업안전보건연구원 연구보고서, 2020-산업안전보건연구원-834, 2020
- National Institute for Occupational Safety and health(NIOSH) : NIOSH Manual of Analytical Methods
- Occupational Safety and health Administration(OSHA) : Sampling and Analytical Methods