OSHRI:VIEW

연구전문지 OSHRI:VIEW Vol.17 No.3 (통권94호)

OSHRI:VIEW

보다 나은 미래,
연구로 보다

2023년 제3호

화학물질 정보 및 관리체계 구축

Issue

UVCB물질 명칭 뒤에 숨은 석유물질의 정체

슬래그 등 금속 생산 공정에서의 부산물에 대한 유해성 정보작성 이슈

Practice

소규모 사업장 화학물질 관리 프로그램 매뉴얼 개발

화학물질 유해성 평가를 위한 디지털 독성병리 적용시스템 기반 구축 연구

산업재해예방
안전보건공단
산업안전보건연구원

OSHRI:VIEW(오시 리뷰)는

산업안전보건연구원을 뜻하는 'OSHRI(Occupational Safety & Health Research Institute)'와 '보다' 또는 '관점'의 뜻인 'View'의 합성어입니다. 또한 산업안전보건을 의미하는 OSH(Occupational Safety & Health)와 '논평'을 뜻하는 'Riview(review)' 동음이의어 조합으로 산업안전보건연구 분야에 있어 명실상부 연구 전문지로 나아가기 위한 의미도 포함합니다.

이번호의 테마색은 파란색으로 선정하였습니다. 신뢰감을 주는 색인 동시에 편안한 색채감으로 사람들이 파란색으로부터 위안을 얻는다는 점에서 착안하였습니다. 근로자들의 곁에 머물며 신뢰와 믿음을 줄 수 있는 연구원이 되기 위하여 노력해 나가겠습니다.

OSHRI:VIEW [Vol.17 No.3 (통권94호)]

발 간 번 호 2023-산업안전보건연구원-509
발행연월일 2023년 10월 2일
발 행 처 산업안전보건연구원
발 행 인 김은아 연구원장
편집위원장 조동제 안전보건정책연구실장
편 집 위 원 안전보건연구원 산업안전연구실 김정덕 부장
안전보건연구원 직업건강연구실 이경은 선임연구위원
안전보건연구원 직업환경연구실 박현희 선임연구위원
안전보건연구원 산업화학연구실 이혜진 연구위원
안전보건연구원 흡입독성연구센터 김용순 부장
안전보건공단 산업안전실 유영수 부장
안전보건공단 산업보건실 조덕연 부장
부경대학교 오창보 교수
가천대학교 함승헌 교수
담 당 연구기획부 안정호 부장, 제유리 차장, 김이슬 대리
문 의 052-703-0812
주 소 울산 중구 종가로 400 산업안전보건연구원
편집디자인 언프레임 주식회사
인 쇄 한결

산업재해예방
안전보건공단
산업안전보건연구원

차 례

Prologue

"화학물질 유해위험의 와치독이 될 화학물질 정보 및 체계적 관리기반 구축"

상대를 알고 나를 알면 백 번 싸워도 위태롭지 않다는 고사성어가 있습니다.
그만큼 위험을 관리하고 대처하는 데에는 '아는 것'이 중요하다는 의미일 것입니다.
이는 산업안전보건연구원이 산업현장의 위험을 사전에 파악하고 '알기 위해' 연구를 하는 것,
연구원의 존재 이유와 일맥상통합니다.

기술의 발전과 ESG, 지속가능한 성장 등 새로운 이슈들이 산업현장에서 맞물리며 시시각각 새로운 산업과 공정이 등장하고 있습니다. 따라서 발생가능한 위험에 대비하고 안전한 화학물질 관리를 위한 화학물질 규제 분석 및 개선이 뒤따라야 할 것입니다. 지속적으로 유해성 정보를 확인하고 최신 동향을 팔로우업하여 다양하고 복합적인 화학물질을 확인·구분하는 것이 우리 연구원의 과제가 될 것입니다.

따라서 이번 이슈 섹션을 통해 최근 화두가 되고 있는 UVCB물질(복합다성분물질) 관련 논점들을 짚어보고자 합니다. 특히 석유물질의 위험성을 MSDS(물질안전보건자료)에서 어떻게 효과적으로 관리할 수 있는 지와 금속생산 공정에서 생산되는 부산물의 유해성을 어떻게 관리해야 할지를 논점으로 제안합니다. 또한, 프랙티스와 브리프 섹션에서는 화학물질의 정책과 독성규명의 양쪽 분야에서 화학물질 관리를 짚어보고자 합니다.

세상에 완전함이란 쉽게 존재할 수 없는 것이지만 불완전함을 인정하고 대비해 나가는 것이 위험의 발견, 시작이라는 마음가짐으로 '화학물질 정보 및 체계적 관리기반'을 구축해나가겠습니다.
수많은 변수를 이겨내고 산업재해를 예방할 수 있는 연구를 해나가겠습니다.

OSH RiMiEW

01

Issue

01. UVCB물질 명칭 뒤에 숨은 석유물질의 정체

02. 슬래그 등 금속 생산 공정에서의 부산물에 대한 유해성 정보 작성 이슈

Issue는 시의적절하고 중요성 있는 산업안전 보건 이슈를 소개하고 연구동향을 분석하여 새로운 인사이트를 제시합니다.

01

산업안전보건연구원 산업화학연구실
박진우 차장

UVCB물질 명칭 뒤에 숨은 석유물질 정체

주요 내용 요약

| 최근 발생한 할로겐 탄화수소물질 중독사고는 세척작업에서 노출이 관리되지 않아 발생한 사고임. 국내외 세척용도로 대량 사용되고 있는 석유물질도 유해성 및 노출량 등을 고려할 때 유사 중독사고 발생에 대한 우려가 제기되고 있음. 하지만 산업안전보건법 상 규제대상목록에 있는 석유물질은 브이엠 및 피나프타(VM&P Naphtha) 등 소수에 불과하기 때문에 목록 외 수백 종(CAS No. 기준)에 이르는 대다수 석유물질은 어떤 규제가 적용될 수 있는지 구분하기 어려움. 따라서 명칭 등의 식별과정을 통해 석유물질의 규제대상 및 방안 등을 알아보고자 함

| 화학물질 명칭은 크게 분자구조를 통해 명명된 물질 명칭과 UVCB(Substances of Unknown or Variable composition, Complex reaction products or Biological materials)물질 명칭으로 구분됨. UVCB물질은 화학적으로 정확한 식별이 어렵거나, 분리가 어려운 여러 성분들이 섞여있는(혼합물질과 구분) 생물학적 물질, 가변적 조성 물질, 복합체 반응 생성물 등을 의미하며, 석유물질도 UVCB물질에 해당됨.

| 석유물질의 명칭은 초기 분류된 물질 종류(나프타 등), 탄화수소원료, 최종정제공정, 탄소숫자범위 등이 일반화된 용어로 구성되어 있음. 정제공정 등은 석유물질의 주요 성분을 결정하게 되며 hazard(UN GHS에 따른 물리적위험성, 건강유해성, 환경유해성)도 좌우하게 됨. EU CLP(Classification, Labelling and Packaging) Regulation (EC) No 1272/2008에서는 석유물질에 대하여 벤젠, 톨루엔, 노말헥산 등의 규제요건 성분을 통해 발암성, 생식독성, 생식세포변이원성 등의 hazard를 분류하고 있음. 이 성분들은 산업안전보건법에서도 작업환경측정, 특수건강검진, 관리대상 등의 규제물질에 해당되기 때문에 석유물질의 중요 식별정보임.

| 현재 산업안전보건법의 목록방식 화학물질관리에 있어 가장 큰 문제는 목록 외의 유해물질 관리에 있으며, 대다수의 석유물질도 여기에 해당됨. 따라서 수많은 석유물질을 그룹으로 관리하는 방식은 목록방식에 비해 효과적이고 합리적일 수 있음. 잠재적 hazard는 그룹물질 전체에 적용될 수 있으나, 개별물질별로 정제수준 등에 따라 차별화된 hazard도 인정됨. 그룹별로 hazard, 용도, 노출수준에 따라 위험성을 저감할 수 있는 수준별 관리가 시행될 수 있으며, hazard가 확인되지 않은 그룹에 대해서는 반복적으로 흡입 또는 피부 등에 노출될 수 있는 노출경로를 차단, 제어하는 등의 예방적 노출관리도 시행될 수 있음.

Ⅰ. 화학적 식별이 정확한 명칭 vs 부정확한 명칭

최근에 자주 발생하고 있는 세척제 사고는 대부분 할로겐 원자계열이 포함된 탄화수소 물질과 관련이 있다. 트리클로로에틸렌, 트리클로로메탄 등은 분자구조상 할로겐의 극성, 탄화수소의 비극성 특성을 모두 갖추고 있는 세척력과 휘발성이 우수한 물질이며 세척제 용도로 많이 사용되고 있다. 시너, 등유 등도 세척제 및 희석제용으로 사용되고 있지만 할로겐 원자계열이 포함되지 않은 탄화수소 물질(상품)이다. 이 물질들에 있어 두드러진 차이점이 있다면 명칭에서 찾을 수 있다. 트리클로로에틸렌은 식별기능이 우수한 명칭에 속하고, 등유는 식별기능이 떨어지는 명칭에 속한다는 점이다. 그렇다면 왜 식별기능이 떨어지는 명칭이 존재하는 것일까?

언어학자 노엄 촘스키는 언어가 유한한 수단으로 무한 활용을 가능하게 하고, 구조상 최소거리 특성과 최소 연산 원칙을 따른다고 한다. 언어의 종류 중 하나인 명칭은 외부 관찰자가 실체 또는 개념 등을 식별하기 위해 사용하는 용어이다.

따라서 화학물질 명칭은 물질을 식별하기 위해 만들어진 용어이며, IUPAC(International Union of Pure and Applied Chemistry) 명명법 및 CAS(Chemical Abstracts Service) 명명법 등에 의해 만들어진다. 이 외 비누, 세제 물질은 SDA(Soap Detergent Association), 효소는 IUBMB(International Union of Biochemistry and Molecular Biology)의 명명법을 따르고 있다. IUPAC의 화학물질 명칭의 목표는 화학구조의 고정 개념이 전달되도록 의사소통 관행을 표준화하고, 화학적 특성과 유도체의 작용기능에 대한 통찰력을 제공하는 것으로 하고 있다. 하지만 지나치게 표준화(체계화)된 명칭은 언어의 최소 거리, 최소 연산 원칙이 깨지고 복잡해지면서 개념 전달을 방해하는 명칭이 되어 실제로 사용되지 않기도 한다. 이와는 달리, 미국 EPA (Environmental Protection Agency; 미국환경보호청) 및 유럽 ECHA(European Chemicals Agency; 유럽화학물질청)를 통해 등록되는 물질들의 명칭중에서는 앞서 언급한 체계화의 반대 개념인 일반화(generic)가 지나치게 진행되면서 식별기능이 사라진 명칭이 되기도 한다.

화학물질 명칭은 크게 분자구조를 기반으로 한 명확한 물질 명칭과 UVCB(Substances of Unknown or Variable composition, Complex reaction products or Biological materials) 물질 명칭으로 구분된다. UVCB물질은 화학적으로 정확한 식별이 어렵거나, 분리가 어려운 여러 성분들이 섞여 있는(혼합물질과 구분) 생물학적 물질, 가변적 조성 물질, 복합체 반응 생성물 등을 의미한다. 석유물질(petroleum substances)은 원유(Crude Oil)를 증류 및 정제하면서 생산되는데, 원유 자체가 천연의 다양한 동식물이 특정한 압력과 온도조건에서 만들어지기 때문에 복잡하고 다양한 성분으로 구성되어 있다. 따라서 석유물질은 UVCB물질로 구분된다. ECHA는 석유물질을 REACH(Registration Evaluation Authorisation Restriction of Chemicals; 화학물질의 등록, 평가, 허가, 제한 제도) Regulation (EC) No 1907/2006에 적용할 때 조성에 대한 정의를 중요 문제로 표명하였다. 수백만 이상의 분자들로 구성된 석유물질을 명확한 물질로 분류하여 혼합물로 정의하려던 당초 시도는 불가능한 미션이었다. 사실, 당시 석유물질은 유통에

있어 상세한 화학 조성이 필요치 않았다. 석유물질은 석유산업 및 상업적인 관행에 따라 유럽 표준에 지정된 물리화학적 매개변수를 기준으로 제조 판매되고 있었기 때문이었다. 석유물질은 동일한 공정을 거치더라도 조성이 다양할 수밖에 없는데, 제품별 식별사양에 있어 조성은 중요한 제조기준이 아니었다. 따라서 석유물질의 명칭은 기존의 지정된 물리화학적 매개변수 기준에 맞춰 명명되었고, 조성에 관한 개념은 명명기준으로부터 멀어지게 되었다.

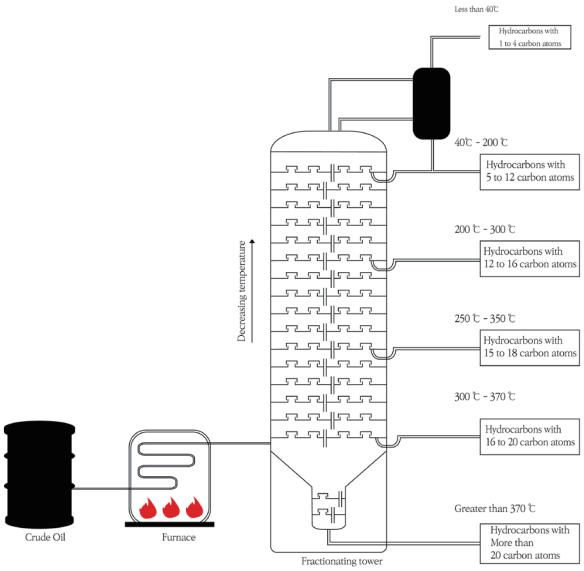
IUPAC 명명법의 목표는 산(Acid), 염기(Base), 염(Salt), 유기(Organic), 무기(Inorganic) 등과 같은 물질 부류(Class)를 명칭에 포함시켜 화학적 특성과 작용기능 개념을 식별하게 하는 것이다. 하지만 석유물질 명칭에는 물질정보를 대신하여 증류(Distillate), 촉매분해(catalytic cracked) 등과 같은 공정명칭 등으로 구성되어 있으며, 이들은 실제 성분정보가 아니다. 예를 들어, 여러분들은'Naphtha (petroleum), catalytic reformed'라는 석유물질 명칭에서 무슨 정보를 식별할 수 있는가? 정답은 Naphtha(petroleum)라는 원료물질이 catalytic reformed(촉매개질)된 석유물질이라는 정보이다. 그렇다면 도대체 이 석유물질은 무슨 물질인가(무슨 물질로 구성되어 있는가)? 라는 질문에 답할 수 있는 사람은 아마도 그리 많지 않을 것이다. 따라서 우리는 일반화된 명칭을 개념적인 식별기능이 저하된 명칭이라고 부를 수 있다. 하지만 이러한 명칭도 어떤 매체를 통해 어떻게 기술되느냐에 따라서 이야기가 달라질 수 있다.

II. 석유물질 identification

현재 CAS를 통해 검색되고 있는 석유물질 명칭은 EPA 및 미국석유협회(API; American Petroleum Institute)가 공동으로 TSCA(Toxic Substances Control Act)에 대응하기 위해 개발한 명칭이다. EPA에서는 당시 TSCA에 따라 1979년 7월 이전에 상업적으로 제조, 수입 또는 유통되는 석유물질을 모두 등록시키려 하였다. 하지만 등록 방식에 문제가 발생하게 된다. 기존의 등록 방식은 개별 분자를 식별하여 혼합물 형태로 등록하는 것이었는데, 석유물질과 같이 개별 분자의 복잡성 및 가변성이 심한 물질에는 적용이 곤란했기 때문이다. API에서는 이에 대한 해결책으로 석유산업 및 공장에서 이미 사용하고 있던 일반명칭(generic name)을 EPA에 제안하게 된다. 일반명칭은 모든 석유 스트림(stream)과 정제공정의 광범위한 일반용어로 구성되어 있었으며, EPA에서는 이를 수용하여 명칭 및 CAS No.로 구성된'US EPA (1978) TSCA PL 94-469 Candidate list of chemicals substances Addendum I'목록을 게시하게 된다. 유럽에서도 ECHA 및 CONCAWE(Conservation of Clean Air and Water in Europe)가 일반명칭 등록을 수용하였고, 석유물질 명칭이 그룹별로 분류된 목록을 EC No.와 함께 게시하게 된다.

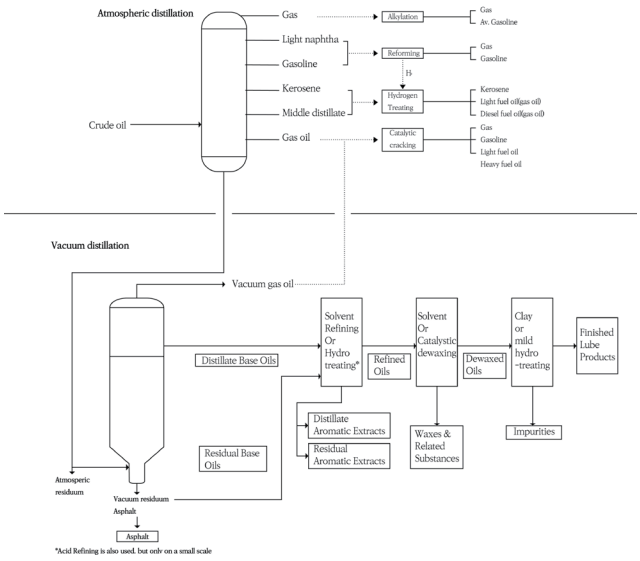
석유물질 목록에 있는 명칭은 개별 석유물질을 식별하는 경계라인이지만 실제 구성성분은 경계라인에 교집합 형태로 존재하고 있다. 그 이유는 역사적으로 개발된 원유 정제공정 용어들이 줄곧 반영되어 오늘날의 석유물질 명칭으로 만들어졌기 때문이다. 아래 그림을 보면

증류공정을 통해 나온 석유 스트림(stream)이 끓는점을 기준으로 개별 명칭으로 구분되어 있지만, 그 속에 포함된 탄화수소 탄소 범위에는 중첩 구간이 존재하고 있음을 알 수 있다(예시; 200~300℃(Hydrocarbons C12~16) / 250~350℃(Hydrocarbons C15~18)).



[그림1] 원유 증류공정

증류공정을 거친 원유는 크게 가스, 나프타, 잔류물질 등으로 분류되며, 다양한 정제공정 등을 거쳐 가솔린, 디젤, 윤활기유 등의 상품으로 출시된다. 초기 분류물질은 종종 "petroleum process streams"로 지칭되고, 공정이 추가되면서 세분화된다.



[그림2] 석유정제공정에 대한 단순공정도
(Figure adapted from Kane et al, 1984 and IARC, 1984)

EPA의 TSCA HPV(High Production Volume) 자료에 따르면 석유물질은 일반적으로 끓는점 범위, 공정이력, 최종용도와 같은 특징적인 유사성 및 정제공정에 따라 먼저 분류되고, 이어서 인간 및 생태 유해성을 기반으로 더욱 세분화된다고 한다. 이는 미국의 산업계 또는 규제적인 요구사항이 반영된 사항이다. 유럽의 CONCAWE에서는 유해성(UN GHS에 따른 물리적위험성, 건강유해성, 환경유해성. 이하 hazard), 정제공정, 주요탄화수소 구조 및 범위, 기본적인 물리적 특성(끓는점 등)이 유사한 석유물질을 동일한 그룹으로 범주화하는 방식을 채택했다. 다음은 HPV 및 REACH 제도에 따라 등록된 석유물질의 분류 비교표이다.

[표1] EPA HPV와 ECHA REACH에 등록된 석유물질 분류 비교

Petroleum HPV Categories	Petroleum EU Registration Dossiers (REACH)
Aromatic Extracts	Distillate aromatic extracts Treated distillate aromatic extracts Residual aromatic extracts
Asphalt	Bitumen Oxidized asphalt
Crude Oil	
Gasoline Blending Streams	Low boiling point naphthas / gasolines
Gas oils	Straight run Gas oils Vacuum Gas oils, hydrocracked Gas oil and distillate fuels Cracked Gas oils Other Gas oils MK-1 diesel fuel
Heavy Fuel Oils	Heavy fuel oil components
Kerosene/Jet Fuel	Kerosines
Lubricating Grease Thickeners	
Lubricating Oil Basestocks	Highly refined base oils Unrefined / acid treated oils Lubricant base oils Foots oils
Petroleum Coke	
Petroleum Gases	Petroleum gases Other petroleum gases
Reclaimed Substances	Paraffinic and hydrocarbon waxes Slack waxes Petrolatums
Waxes and Related Materials	
	Sulfur

위에서 분류된 그룹은 다시 개별 석유물질들로 세분화된다. 그리고 개별 석유물질의 명칭은 속해 있는 그룹의 명칭과 유사한 방식으로 아래 정보를 포함하여 명명되고 정의된다.

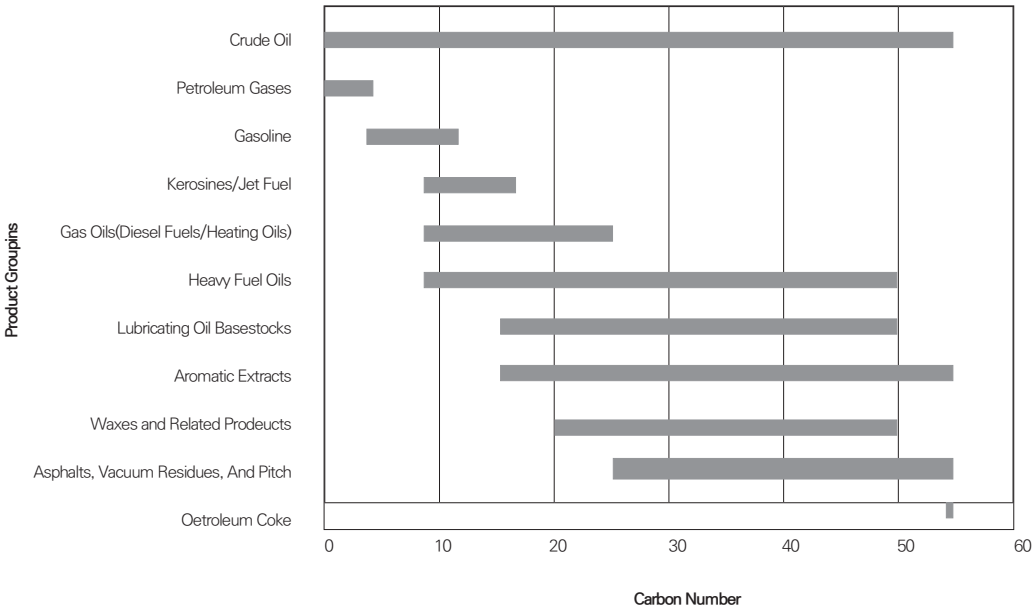
1. 초기 분류된 물질 종류(가스, 나프타, 잔류물질, 또는 정제공정을 거쳐 제조된 추출물, 왁스 등의 명칭)
2. 탄화수소원료
3. 최종정제공정
4. 탄소숫자범위
5. 끓는점

명칭에 추가되는 정제공정 용어는 개념적인 복잡성을 증가시키기도 하지만 조성, 물리화학적 특성 및 hazard를 세분화시키면서 물질별 식별기능을 좀 더 치밀하게 만든다. 다음 예시를 보면 명칭과 정의에 Distillates(초기 분류된 물질 종류 : 증류물질), petroleum(탄화수소원료), heavy catalytic cracked(최초정제공정), C15~C354(주요탄화수소의 탄소숫자범위), 260~500℃(끓는점 범위) 정보가 주요 식별 개념 용어로 구성되어 있음을 알 수 있다.

물질명	CAS No.	정의
Distillates1(petroleum2), heavy catalytic cracked3	64741-61-3	A complex combination of hydrocarbons produced by the distillation of products from a catalytic cracking process. It consists of hydrocarbons having carbon numbers predominantly in the range of C15 through C354 and boiling in the range of approximately 260 °C to 500°C (500°F to 932°F)5. This stream is likely to contain 5 wt. % or more of 4- to 6-membered condensed ring aromatic hydrocarbons.

지금까지 석유물질 명칭의 구성요소를 알아보았다. 석유물질은 UVCB물질이기 때문에 분자구조를 통해 명명될 수 없고, 원료, 공정 등의 정보가 일반화된 용어로 명명되고 있는 일반명칭에 속한다. 그렇다면 이러한 석유물질 명칭을 통해 우리는 무엇을 식별해야 하며, 무슨 정보를 얻을 수 있을까? 연료, 금속 및 플라스틱 등의 소재 세척제 및 희석제 등의 용도로 활용되는 Gasoline Blending Streams(Low boiling point naphthas/gasolines) 그룹을 통해 좀 더 구체적인 정보를 확인해보자. 여기부터는 편의상 EPA와 ECHA에서 공통적으로 사용하고 있는 그룹용어 Gasoline으로 기재하겠다.

증류공정을 거친 원유 중 끓는점이 낮은 나프타는 EPA HPV기준 81종, CONCAWE 기준 141종에 이르는 개별 석유물질로 세분화된다(일부 파악이 불가한 종수는 제외). 이들 대부분은 휘발성 액체이며 공통된 물리적 특성을 보인다. 상압증류(atmospheric distillation), 알킬화(alkylation), 이성질화(isomerisation), 촉매분해(catalytic cracking), 열분해(thermal cracking), 촉매개질(catalytic reforming), 촉매중합(catalytic polymerisation), 수소화처리(hydrotreatment), 수소화탈황(hydrodesulphurisation), 수소화분해(hydrocracking), 코킹(coking) 공정을 거치게 되면서 탄화수소분자가 분리 또는 혼합되고 상품으로써의 제원을 갖추게 된다. Gasoline 그룹 내 석유물질은 개별물질로 상품화되기보다는 혼합되어 판매된다. 혼합 Gasoline 제조에 사용되는 나프타는 파라핀(Paraffins), 올레핀(Olefins), 나프텐(Naphthenes) 및 방향족(Aromatics) 4가지 탄화수소(PONA)로 구성되어 있다. 탄소범위는 주로 C1~C50이며, 통상 상온에서 C1~C4의 탄소범위는 가스, C5~C19는 액체, C40이상은 반고체이다.



[그림3] 석유정제물질의 탄소숫자(탄소사슬길이) 범위

증류공정 및 정제공정 등은 서로 단절된 공정이 아니기 때문에 다양한 생성물질이 서로 분리되지 못하고 혼합되어 존재한다. 따라서 EPA Gasoline 그룹의 끓는점은 -20~230℃로 상당히 넓은 범위에 분포하고 있으며(CONCAWE -88~260℃), 주요 탄소범위도 C4~C12에 이른다. 상품으로써 표준제원은 끓는점을 통해 조절되며, 분자량이 큰 탄화수소일수록 끓는점이 높다. 예를 들어 끓는점이 약 90℃에서는 탄소범위 C4~C6의 탄화수소로 구성되고, 약 200℃에서는 C7~C10의 탄화수소로 구성된다. 파라핀(Paraffins), 올레핀(Olefins), 나프텐(Naphthenes) 및 방향족(Aromatics)의 PONA 구성비도 중요하며, 방향족 함유량은 알킬화 공정을 거치게 되면 감소하고, 촉매개질 공정을 통해서는 상승된다. 다음을 통해 확인할 수 있다.

- 파라핀계 : Light alkylate naphtha, CAS No. 64741-66-8 (약 100% 파라핀)
- 올레핀계 : Light catalytic cracked naphtha, CAS No. 64741-55-5 (약 40%이상 올레핀)
- 나프텐계 : Heavy straight run naphtha, CAS No. 64741-41-9 (약 30% 나프텐)
- 방향족계 : Full range catalytic reformed naphtha, CAS No. 68955-35-1 (약 60% 방향족)
- Light catalytic reformed naphtha, CAS No. 64741-63-5 (약 33% 방향족)

끓는점과 정제공정은 석유물질의 주요 성분을 결정하게 되며 hazard도 좌우하게 된다. 다음은 CONCAWE에서 Gasoline 그룹에 대하여 분류한 hazard 분류 정보이다. 여기에서 눈여겨볼 사항은 생식독성(Repr. 2), 생식세포변이원성(Muta. 1B) 및 발암성(Carc. 1B) 분류에 대한 규제요건 성분이 톨루엔(Toluene), 노말헥산(n-Hexane), 벤젠(Benzene)이라는 점이며, 이들은 모두 산업안전보건법에서 작업환경측정, 특수건강검진, 관리대상 등의 규제물질이라는 점이다. 따라서 이

[표2] EPA HPV와 ECHA REACH에 등록된 석유물질 분류 비교

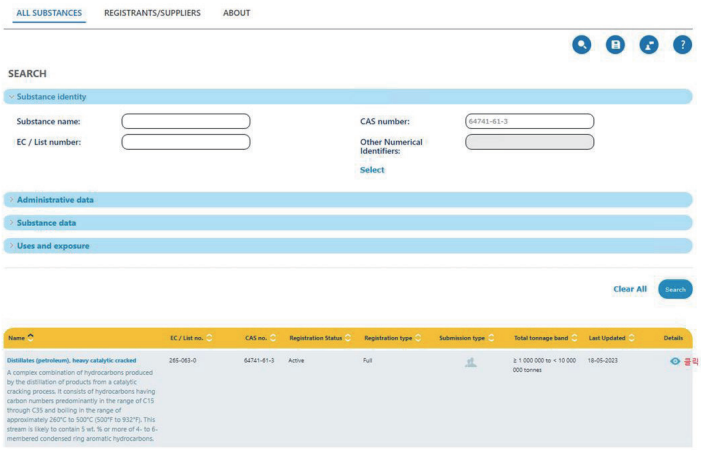
Hazard classification	C&L marker 등 근거정보
Flam. Liquid 1	인화점 및 끓는점 범위
Skin Irrit. 2	독성시험결과
Asp Tox 1	kinematic viscosity 〈7mm2/s at 40°C
Repr. 2. Specific effect(Fertility and unborn child)	≥3% w/w toluene and/or n-hexane(규제분류)
Muta. 1B	≥0.1% w/w benzene
Carc. 1B	≥0.1% w/w benzene
STOT Single Exp. 3. Affected organs(Central nervous system). Route of exposure(Inhalation)	독성시험결과
Aquatic Chronic 2	log Kow values ≥4, 생체에 축적가능성 있음

성분들은 석유물질에서 식별해야 하는 중요 정보가 된다.

지금까지 알아본 석유물질 식별과정은 산업안전보건 영역에서 낯설고 부담스럽게 느껴질 수 있으니, 웹을 통해 식별할 수 있는 간단한 방법을 알아보자.

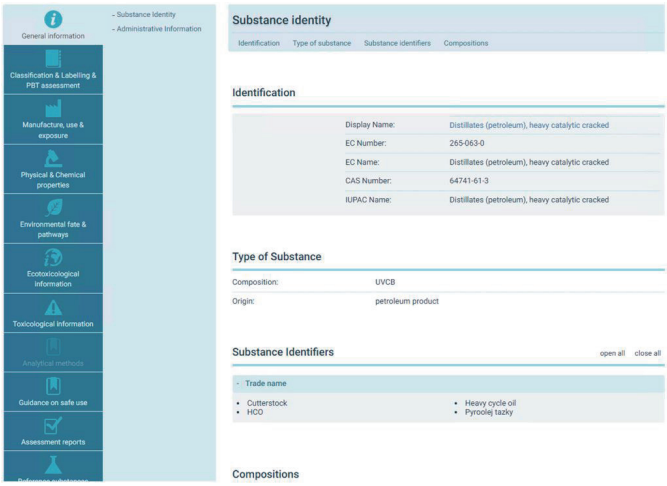
첫째, 물질안전보건자료 등에서 찾은 식별정보(명칭, CAS No. 등) 중에서 어느 것이 석유물질 식별정보인지 아래와 같은 방법을 통해 확인한다.

- 웹 msds.kosha.or.kr의 자료실에서 게시물「대체 화학물질명칭 및 함유량 기준 안내서」의 첨부파일 (별첨 2. 오일류 또는 유사 원료로부터 얻은 물질(petroleum, coke 및 coal 물질) 목록)에서 CAS No. 등으로 검색되는 물질
- 웹 concawe.eu/reach에서 「Inventory of Concawe Petroleum Substances」목록을 다운로드 후 CAS No. 등으로 검색되는 물질
- 웹 echa.europa.eu/infromation-on-chemicals/registered-substances에서 CAS No. 등으로 검색한 결과 중 [Type of Substances-Origin : petroleum product]인 경우



[그림4] ECHA 홈페이지 검색 화면

둘째, 위의 검색 결과에서 (빨강색 표기)를 클릭하여 나온 아래 화면에서 조성, hazard 등 식별정보를 확인한다.



[그림5] ECHA 홈페이지 검색 결과 화면

이러한 프로세스가 낯선 이유는 관리, 작업환경측정, 특수건강검진 등의 규제대상물질이 모두 목록으로 되어 있어 별도의 식별과정이 필요하지 않았던 탓도 있다. 당연히 목록에 없는 물질도 식별과정이 불필요했을 것이고, 때때로 식별을 시도했더라도 정보 부재 등의 이유로 정확한 식별이 되지 않았을 것이다. 현재 규제대상물질목록 및 석유물질목록(EPA 391종, ECHA 665종) 양쪽 모두에 속한 물질은 브이엠 및 피 나프타(VM&P Naphtha, CAS No. 8032-32-4), 스토다드 용제(Stoddard solvent, CAS No. 8052-41-3), 가솔린(Gasoline, CAS No. 8006-61-9), 휘발성 콜타르피치(Coal tar pitch volatiles, CAS No. 65996-93-2), 콜타르(Coal tar, CAS No. 8007-45-2)에 불과하다. 그렇다면 이들을 제외한 대다수의 석유물질 관리는 어떻게 시행될 수 있을까? 우리는 실제 석유물질에 대한 식별과정을 진행하여 문제를 인식하고 해결해보았다.

Ⅲ. 석유물질 식별정보 전달방안

화학물질 관리는 화학물질 식별과정에서 얻은 정확한 정보를 통해 시작될 수 있다. 하지만 물질안전보건자료를 통해 얻은 식별정보에는 많은 정보들이 가려져 있거나, 식별이 곤란한 일반명칭으로 기재되기도 한다. 이렇게 정확하지 않은 정보가 전달되는 원인부터 살펴보자.

화학물질 명칭은 정보전달 관점에서 중요한 역할을 하지만 때로는 경쟁사에게 영업비밀 정보를 제공한다는 업계의 의견이 많았다. 따라서 물질명칭은 영업비밀 정보로 인정되어 정보보호 조치가 취해지고 있다. 유럽에서는 REACH Regulation Article 119(1) 및 119(2)에 따라 웹 게시 등의 정부 행위에 있어 자료보호가 가능하며, CLP(Classification, Labelling and Packaging) article 24 of Regulation(EC)No1272/2008에 따라 물질안전보건자료의 원래 명칭을 대신하여 일반화된 대체명칭으로 기재할 수 있다. 국내에서는 화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률 제45조에 따라 정보공표 등의 정부의 행위에 있어 자료보호가 가능하며, 산업안전보건법 제112조에 따라

물질안전보건자료의 물질 명칭, CAS No. 등의 식별정보에 대하여 대체명칭 및 함유량 사용이 승인된다. 따라서 원료물질 제조·수입자는 일반화된 대체명칭으로 작성한 물질안전보건자료를 유통단계 하위에 있는 사용자(중간제조자 등)에게 전달할 수 있게 되며, 물질 식별정보는 가려질 수 있다(예시 ; CAS No.는 생략되고, 명칭은 lead→transition metal, pentanol→alkanol 등과 같은 대체명칭으로 기재됨). 이러한 정보를 전달받는 자는 규제이행 및 사고 예방 등의 조치에 있어 한계가 따를 수밖에 없다. 따라서 원료물질 제조·수입자는 명칭의 식별기능을 대신(보완)하는 정보에 정확성을 기해야 한다. 특히, 법적규제현황 등의 항목은 화학물질 조성을 정확히 알고 있는 자만이 판단하여 기재할 수 있기 때문에 정확성이 더욱 요구된다.

석유물질도 예외일 수 없다. 더군다나 석유물질은 일반명칭뿐만 아니라 함유된 탄화수소가 다양하고 변이가 크기 때문에 규제정보를 정확하게 전달하는데 어려움이 따른다. 이 어려움을 해소하기 위해 2022년부터 2023년에 걸쳐 석유물질 식별관련 조사를 진행하게 된다.

※ 조사개요

1. 석유물질정보 식별문제 인식

석유물질은 UVCB물질이며, 명칭은 성분을 알 수 없는 일반명칭이기 때문에 하위사용자는 명칭 및 CAS No. 만으로 규제대상 여부를 식별할 수 없는 문제가 있음

2. 석유물질에 함유된 규제대상원인물질* 확인

* 규제대상원인물질(가칭) : 산안법 상 관리/작업환경측정/특수건강진단대상물질 등에 해당하는 성분이며, 1%(또는 0.1%) 이상 함유될 경우 규제대상물질이 됨

세척용도로 사용되는 Naphtha에 대하여 규제대상원인물질 함유 여부를 확인함

- 국내 정유사 성분분석정보와 REACH의 등록정보를 통해 석유물질 107종(CAS No. 23종)에 대한 벤젠, 톨루엔, 노말헥산의 존재를 확인하였고, 이 성분들이 한계농도 이상 함유된 석유물질 69종(64%)도 확인함

3. 해소방안 도출

국내 정유사 및 관련 협회에 규제대상원인물질의 명칭 및 한계농도 기재방식을 제안함

- 원료 MSDS : 규제대상원인물질 함유량을 고려하여 규제대상물질 명칭 및 한계농도 기재
- 중간제품 MSDS : 원료 MSDS의 규제대상물질 명칭 및 한계농도를 그대로 기재

* EU CLP Regulation에서는 석유물질의 hazard 규제대상 요건에 충족하는 성분으로 벤젠, 톨루엔, 노말헥산, DMSO(Dimethyl sulfoxide)추출물, 부타디엔 등을 정하고 있으며, 이들이 한계농도 이상인 경우 발암성, 생식독성, 생식세포변이원성 등의 hazard로 분류하고 있다. 따라서 Naphtha에 함유될 수 있는 벤젠, 톨루엔, 노말헥산을 조사대상물질로 선정하였다. DMSO추출물 중 나프탈렌이 함유될 수 있으나 확인할 수 없었고, 부타디엔은 성상이 가스이기 때문에 제외하였다.

다음은 석유물질에 함유된 규제대상원인물질을 확인할 결과이며, 정제공정에 따라 유의한 차이가 발생함을 알 수 있다(물질명칭의 진한부분에 따라 건수 및 종수 차이를 확인).

[표3] REACH에 등록된 나프타 등(56종)의 규제대상원인물질 함유 건수(예시)

substances name	등록건수 (건)	Benzene (건)	Toluene (건)	N-hexane (건)	…
Naphtha (petroleum), hydrotreated **heavy** CAS No. 64742-48-9	32	12	16	13	…
Naphtha (petroleum), hydrotreated **light** CAS No. 64742-49-0	32	23	18	24	…
Naphtha (petroleum), light **catalytic cracked** CAS No. 64741-55-5	35	32	29	31	…
Naphtha (petroleum), light **catalytic reformed** CAS No. 64741-63-5	31	28	23	27	…
Naphtha (petroleum), light **straight-run** CAS No. 64741-46-4	22	18	17	18	…
Kerosine (petroleum) CAS No. 8008-20-6	79	4	8	3	…

[표4] 국내 나프타 등(23종)의 규제대상원인물질 한계농도 이상 함유 건수(예시)

substances name	조사건수 (종)	Benzene ≥0.1%(종	Toluene ≥1%(종)	N-hexane ≥1%(종)	…
Naphtha (petroleum), hydrotreated **heavy** CAS No. 64742-48-9	5	4	4	4	…
Naphtha (petroleum), hydrotreated **light** CAS No. 64742-49-0	7	2	2	4	…
Naphtha (petroleum), light **catalytic cracked** CAS No. 64741-55-5	1	1	1	1	…
Naphtha (petroleum), light **catalytic reformed** CAS No. 64741-63-5	2	2	1	2	…
Naphtha (petroleum), light **straight-run** CAS No. 64741-46-4	17	14	12	13	…
Kerosine (petroleum) CAS No. 8008-20-6	5	-	-	1	…

물질안전보건자료에는 벤젠, 톨루엔, 노말헥산의 최대 함유량으로 환산된 규제대상한계농도를 아래와 같이 법규 현황에 기재토록 제안하고자 한다. 이에 따라 하위사용자는 규제대상을 그대로 식별하여 관리하거나, 혼합비율(합성 등 제외)을 고려하여 식별할 수 있게 된다.

다음은 CAS No.가 8030-30-6인 나프타에 벤젠 10%, 톨루엔 5% 함유되어 있다고 가정할 때 원료물질, 중간제품으로 제조·사용·유통시 물질안전보건자료를 기재하는 방안을 예를 들었다.

MSDS 기재방안 * 파랑색 표기 부분 제안

*** MSDS 법적규제현황에 석유물질 Naphtha의 규제대상한계농도를 아래 참고* 내용을 적용하여 기재한다.**

3. 구성성분의 명칭 및 함유량

화학물질명	CAS No.	중량비 (%)	적정여부
Naphtha	8030-30-6	100	적정
(Benzene 포함)	71-43-2	10	
(Toluene 포함)	108-88-3	5	

15. 법적규제현황

가. 산업안전보건법에 의한 규제

○ 관리대상유해물질

- 구성성분 중

Benzene : **해당(특별)** (Naphtha≥1% 경우 해당)

*규제대상원인물질 중 함유량이 가장 큰 물질 적용

○ 작업환경측정대상물질

- 구성성분 중

Benzene : **해당** (Naphtha≥10%인 경우 해당)

Toluene : **해당** (Naphtha≥20%인 경우 해당)

○ 특수건강진단대상물질

Benzene : **해당** (Naphtha≥10%인 경우 해당)

Toluene : **해당** (Naphtha≥20%인 경우 해당)

[중간제품 MSDS]

*** 원료 MSDS에 기재된 석유물질 Naphtha의 규제대상한계농도를 그대로 기재하고, Naphtha의 중간제품 혼합비율이 규제적용 한계농도 이상이면 '해당'으로 기재한다.**

3. 구성성분의 명칭 및 함유량

화학물질명	CAS No.	중량비 (%)	적정여부
Naphtha	8030-30-6	10	적정
추가성분	추가성분	90	

15. 법적규제현황

가. 산업안전보건법에 의한 규제

○ 관리대상유해물질

- 구성성분 중

Benzene : **해당(특별)** (Naphtha≥1% 경우 해당)

○ 작업환경측정대상물질

- 구성성분 중

Benzene : **해당** (Naphtha≥10%인 경우 해당)

Toluene : **해당** (Naphtha≥20%인 경우 해당)

○ 특수건강진단대상물질

Benzene : **해당** (Naphtha≥10%인 경우 해당)

Toluene : **비해당** (Naphtha≥20%인 경우 해당)

*** 참고 : 한계농도 적용방식 및 계산식**

(1) 관리대상유해물질의 한계농도는 규제대상원인물질 중 함유량이 가장 큰 물질을 적용한다(공식1).
단, 특별관리물질이 0.1% 이상 있는 경우 해당물질을 적용한다(공식2).

(2) 작업환경측정 및 특수건강진단 대상물질의 한계농도는 각 물질의 산안법 규제농도에 따라 공식을 적용한다(공식1).

· 산안법 규제농도 1% 기준 : 규제대상원인물질 한계농도 (≥1%) = $\frac{10000}{\sum_n C_p \times C_i}$ [공식1]

· 산안법 규제농도 0.1% 기준 : 규제대상원인물질 한계농도 (≥0.1%) = $\frac{1000}{\sum_n C_p \times C_i}$ [공식2]

여기서, C_p : 제품에 함유된 석유물질 p의 함유량(%)
C_i : 석유물질 p에 포함된 규제대상원인물질 i의 함유량(%)

Ⅳ. 석유물질 관리방안

석유물질에는 다양한 유해성분이 존재할 수 있으나 명칭을 통해서 바로 식별되지 않기 때문에 추가적인 식별과정이 필요하다. 석유물질 성분정보는 ECHA 홈페이지 내 REACH registered substances 정보를 통해 일부 식별할 수 있다. 국내의 경우에도 화평법을 통해 석유물질이 등록되고 있지만 아직 성분정보는 열람할 수 없다. 석유물질의 hazard는 기본적으로 시험 등의 근거 자료를 토대로 분류되지만, EU CLP Regulation에서는 발암성, 생식독성, 생식세포변이원성 등의 hazard에 대하여 규제요건 성분을 통해 분류하고 있다. 규제요건 성분은 유해성 및 노출경로 등을 고려해 벤젠, 톨루엔, 노말헥산, DMSO 추출물인 PAC(Polycyclic Aromatic Compounds), 부타디엔 등으로 정하고 있다. 이 성분들은 대부분 산업안전보건법의 규제대상 물질이기 때문에 석유물질 식별과정에서 반드시 함유 여부가 확인되어야 한다(DMSO 추출물(PAC)의 경우 나프탈렌 등 일부만 해당). 확인된 성분과 함유량을 토대로 석유물질의 규제대상 여부가 결정되면 관리, 작업환경측정, 특수건강검진 등의 규제사항이 이행되어야 한다. 하지만 현실적으로 모든 석유물질을 식별하는 것은 쉽지 않다. 따라서 EPA 및 ECHA에서는 석유물질을 hazard, 공정이력, 주요탄화수소 구조 및 범위, 기본적인 물리적 특성(끓는점 등)이 유사한 그룹으로 분류, 관리하고 있다. 그렇다면 산업안전보건법에서는 어떤 석유물질 그룹을 식별, 관리해야 할까?

CLP규제요건 성분인 벤젠, 톨루엔, 노말헥산 등은 주로 탄소범위 C10이하의 가벼운 탄화수소이다. 따라서 우리는 EPA 및 CONCAWE에서 발간한 자료를 토대로 C10이하의 탄화수소를 포함하고 있는 석유물질 그룹을 조사하였다. 그리고 ECHA registered-substances 웹을 통해 개별 석유물질의 구성성분 및 유의사항을 확인하여 벤젠 등의 성분 게시빈도를 조사하였다. 이 2가지 요건을 모두 만족하는 석유물질 그룹은 표5와 같았으며, 그 중 겨자색이 진할수록 벤젠 등의 게시 빈도가 높은 그룹이다(Gasoline 및 Petroleum Gases 그룹이 진하고, Gas oils 및 Heavy Fuel Oils 그룹은 색이 연하다.). 하지만 동일 그룹에 속한 석유물질이더라도 정제수준에 따라 벤젠 등이 함유되지 않을 수도 있다.

[표5] C10이하의 탄화수소로 구성된 석유물질 그룹

Petroleum Hpv Categories	Petroleum EU Registration Dossiers(Reach)
Gasoline Blending Streams	Low boing point naphthas / gas olines
Gas oils	Straight Run Gas Oils Vacuum Gas Oils, hydroracked Gas oil and distillate fuels Cracked Gas oils Other Gas oils MIK-1 diesel fuel
Heavy Fuel Oils	Heavy fuel oil components
Kerosene/Jet Fuel	Kerosines
Petroleum Gases	Petroleum gases Other petroleum gases
Waxes and Related Materials	Paraffinic and hydrocarbon waxes Slack waxes Petrolatums

현재 산업안전보건법의 목록방식 화학물질관리에 있어 가장 큰 문제는 목록 외의 물질에 있다. 한 해 300종 이상의 신규화학물질, 44,510종의 기존화학물질은 대부분 hazard와 관계없이 관리영역 밖에 존재하고 있다(환경부에서 화평법(화학물질등록평가에 관한 법률 및 화학물질관리법을 통해 관리하고 있는 점과 상반되고 있음). 그렇다고 모든 hazard 물질을 규제대상물질로 당장 편입시킬 수 있는 것은 아니기 때문에, 목록 외의 많은 화학물질에 대하여 다른 관리 방식이 필요하다. 이런 면에서 수많은 석유물질을 목록 대신 그룹으로 관리하는 방식은 더 효과적이고 합리적인 정책이 될 수 있다. 사전예방적 접근 방식의 잠재적 hazard가 그룹 전체에 보수적으로 적용될 수 있으며, 정제수준 등에 따라 개별 석유물질의 다양성도 인정된다. hazard가 알려져 있는 석유물질 그룹은 hazard, 용도, 노출수준에 따라 위험성을 저감할 수 있는 수준별 관리가 시행될 수 있고, hazard가 없거나 확인되지 않은 그룹에 대해서는 반복적으로 흡입 또는 피부 등에 노출될 수 있는 노출경로를 차단, 제어하는 등의 예방적 노출관리가 시행될 수 있다. 특히, 벤젠과 같이 노출기준(TWA 0.5ppm)이 낮은 성분은 함유량이 0.1% 미만으로 잘 정제되어 발암성 hazard를 분류하지 않더라도 그 위험이 완전히 사라질 수 없기 때문에, 잠재적 노출관리를 용도별로 시행하게 되면 효과적이고 합리적일 수 있다. 또한, 같은 용도로 사용되는 저 유해성 석유물질 대체관리도 시행할 수 있다. 실제로 세척용으로 사용되고 있는 2가지 석유물질 그룹 중 kerosine 그룹은 벤젠, 톨루엔, 노말헥산의 함유량이 Gasoline 그룹에 비해 매우 낮으며, EU CLP Regulation에서도 발암성, 생식독성, 생식세포변이원성을 분류하고 있지 않다. 그 이유는 kerosine 그룹의 끓는점(90~320℃)이 벤젠(80℃) 및 노말헥산(69℃)의 끓는점과 차이가 커서 증류공정을 통해 0.01% 미만으로 분리되고 있기 때문이다.

Ⅵ. 마치며

석유물질에 대한 식별방식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 명칭 및 물질특성 식별 방식

원유는 복잡한 탄화수소의 조합으로 구성되어 있으며, 다양하고 복잡한 정제공정을 거쳐 여러 석유물질로 생산된다. 이러한 석유물질에 대하여 화학조성을 통해 식별하는 것은 불가능하기 때문에 특별한 방법(정제공정, 주요탄화수소종류 및 탄소범위, 끓는점 등)을 통해 명칭, 성분 및 hazard 등의 특성도 함께 식별해야 한다.

2. 그룹 식별 방식

hazard, 정제공정, 주요탄화수소 구조 및 범위, 기본적인 물리적 특성(끓는점 등)이 유사한 여러 석유물질들은 동일한 범주 그룹으로 관리되고 있다. 그룹관리방식에서는 사전예방적 접근 방식의 잠재적 hazard가 그룹 전체에 보수적으로 적용될 수 있으며, 정제수준 등에 따라 개별 석유물질의 다양성도 인정된다. 이러한 그룹별 관리 방식은 기존 목록관리방식에 비해 합리성과 효율성을 가져다 줄 수 있다

화학물질의 명칭은 식별기능이 충분하지 않다! IUPAC 및 CAS 명명법은 체계적인 명칭과 실제 통용되는 일반명칭 사이에서 개념 전달 목적을 부합시키려 노력하고 있다. 하지만 분자구조 등이 복잡한 물질과 UVCB물질에 관한 식별은 점차 명칭의 개념 전달 범위를 초월할 수밖에 없다. 또한, 영업비밀 승인을 통해서도 식별이 되지 않는 일반명칭이 양산되고 있다. 따라서 명칭의 일반화에 따라 소실된 정보는 다른 형태로든 전달이 완료되어야 한다. 소실된 정보를 대신하여 hazard, 물리화학적 특성 등이 명칭과 함께 전달될 수 있는 실질적인 정보전달매체로는 물질안전보건자료가 있다. 따라서 석유물질의 명칭은 물질안전보건자료에 있을 때 식별기능이 향상된다. 우리는 석유물질을 인식하고, 식별할 수 있는 능력을 갖출 필요가 있고, 물질안전보건자료는 석유물질에 대한 정확한 정보가 담길 필요가 있다. REACH Regulation 및 화평법에 등록되는 석유물질 정보가 그 시발점이 되어야 하며, 이들 정보는 하위사용자 등이 식별할 수 있는 정보형태로 물질안전보건자료에 기재될 때 정확한 정보전달이 가능해진다. 그리고 그 정보는 사업장의 화학물질관리와 정부의 정책방향에 실효성과 합리성을 부여해줄 것이다.

참고문헌

- ‘Hydrocarbon space mapping to support gas oil read-across for human health hazard assessment’Concawe Review special REACH edition volume31·number 2 September 2022
- Gasoline blending streams category (Aug 20, 2008)Consortium Registration No. 1100997
- Hazard classification and labelling of petroleum substances in the European Economic Area-2021 Concawe Report No. 1/22
- Dissemination and Confidentiality under the REACH Regulation(October 2022)
- 김원 외 4명. 산업용 화학제품 관리를 위한 유해물질 제한에 관한 연구. 산업안전보건연구원. 2019.

OSHRI : Issue

02

리켐프로(주) 이 은 정 대표

슬래그 등 금속 생산 공정에서의 부산물에 대한 유해성 정보 작성 이슈

주요 내용 요약

| 최근 미래 산업경쟁력 향상과 탄소중립 실현을 위해 순환경제 사회로의 전환이 매우 중요한 과제로 대두됨. 금속 생산공정에서 발생되는 부산물을 금속 제련 산업분야에서는 이를 산업용 골재 및 시멘트 원료 등으로 활용하여 폐기물을 감축하고 다양한 원료의 활용으로 사회적 문제를 해결하고 있으나 금속 부산물(제강 슬래그 등)의 유해성 논란이 지속되고 있으므로 이에 대한 유해성 정보 확인 및 정보 작성 동향 파악 필요.

| 금속생산공정에서 발생되는 부산물이 재활용되어 시멘트 등의 원료로 사용되는 경우 금속 부산물은 「폐기물관리법」에 따른 폐기물이 아닌 원료물질로써 관리 필요. 환경부 「화학물질등록 및 평가 등에 관한 법률(이하 화평법)」에 따라 이러한 물질은 복합다성분물질(UVCB)로 등록하도록 함.

| 화평법에 따른 등록 시 금속 UVCB물질 내 구성성분 확인 및 함량 정보는 공급망 내 유해성 정보전달을 위한 기초자료로 매우 중요하며 해당 금속 UVCB물질의 물리화학적 특성 자료는 생산하고, 인체 및 환경 유해성 정보는 구성 금속화합물을 확인하여 수집 및 유해성 분류하도록 함. 등록된 물질은 산업안전보건법 제104조에 따라 유해성으로 분류되는 물질, 즉 MSDS 작성 대상물질은 MSDS를 통해 공급망 내 정보전달하도록 의무화함.

| 지난 '21년 1월 이후 산업안전보건법에 따라 유해성으로 분류되는 물질은 MSDS 작성 제출 의무화하고 있음. 금속부산물의 MSDS 작성시 구성성분 및 함유량은 금속 부산물에 해당되는 CAS번호와 물질명을 기재하고 인체 및 환경 유해성 정보는 금속 부산물 내 구성 금속성분의 유해성정보를 기반으로 유해성 분류 및 안전 사용 정보를 작성하여야 함.

| 금속부산물의 제조공정과 원료물질질의 성분 및 물질특성을 정확하게 파악하여야 하며 유해성 정보와 안전사용 방법을 공급망 내 제공할 수 있도록 지속적인 관리 필요함.

Ⅰ. 금속 재활용 관련 동향

순환경제 및 자원순환 정책 및 제도 동향

우리나라는 2020년 『2050 탄소중립 추진전략』의 10대 과제 중에 순환경제 활성화를 포함하였으며, 미래 산업경쟁력 향상과 탄소중립 실현을 위해 순환경제 사회로의 전환은 매우 중요한 과제로 대두하였다. 2021년 12월 탄소중립을 위한 『K-순환경제 이행계획』을 수립하여 발표하였으며, 특히 폐자원 회수 및 재활용 확대를 위해 고부가가치 폐기물 재활용 촉진, 금속 재자원화 및 도시유전 활성화, 미래 폐자원의 회수 및 재활용 체계 구축, 순환경제 신산업 육성(재제조 산업 확대와 전략 품목별 기술 개발 포함) 등을 제시하였다.

전 세계적으로 디지털 산업의 급격한 기술 발전과 재생에너지 확대 보급에 따른 사용 후 고부가가치 폐자원 발생이 급격히 증가할 것으로 예상한다. 최근 들어 전략 원료물질(critical raw materials)의 안정적인 공급망 구축 관점에서도 폐전기전자제품, 전기차 배터리, 태양광 폐패널의 유가금속 회수에 대한 기술개발이 활발히 진행 중이다.

국제적으로 폐전기전자제품의 발생량은 2019년 기준 약 5억 3,600만톤으로 알려져 있고, 이 중 아시아 국가에서 약 2억 4,900만톤, 유럽 지역에서 약 1,200만톤, 북미와 남미 지역에서 1억 3,100만톤이 발생하는 것으로 예상하며(Forti, et al., 2020), 2030년에는 전 세계 폐전기전자제품의 발생량은 약 40% 증가한 약 7억 4,700만톤으로 예상한다. 한편 국내에서 발생하는 전기전자제품의 발생량은 약 82만톤으로 2019년 기준 이중 약 35만톤 정도가 재활용되었다.

폐전기전자제품의 재활용 공정은 전처리(해체/파쇄) 공정, 선별공정, 추출 및 정제 공정으로 나뉘며, 유가금속을 회수하고, 플라스틱류는 재생원료 및 고형연료로 재활용한다. 농축과 추출공정은 복합 포집 금속(구리, 납, 아연 등)을 유용하게 회수할 수 있도록 복합 비철제련 공정을 운영하여 포집 금속별 특성, 금속의 종류, 최적 회수조건 등의 재활용 기술을 구축하고 있다.

전기차 배터리는 양극활물질, 음극활물질, 분리막, 전해질 및 용기 등으로 구성되며, 유가금속[1]으로는 코발트, 리튬, 망간, 니켈 등 다양한 물질을 함유한다.

국내의 이차전지 업계에서는 리튬을 전량 수입에 의존하고 있다. 전기차 보급 대수 증가와 함께 전기차 사용 후 폐배터리 예상 발생량은 2023년에 약 1만 개가 발생할 것으로 예상하고, 정부 전기차 보급 목표에 따라 2035년 국내 예상 전기자동차 폐배터리의 누적 개수는 최소 105만 개에서 최대 187만 개로 예상한다.

철, 구리, 아연, 니켈, 그 외 희귀금속의 금속 생산공정은 원료가 되는 광석과 광물로부터 원하는 금속을 얻는 각 공정에서 다양한 부산물이 발생한다. 또한 희소금속의 재활용을 위해 건식 제련공정(배소 처리, melting and molten salt 처리 등)과 습식 제련공정(hydrothermal treatment, 이온교환 용매추출, 여과, 정전기 분리 및 미생물 추출 등)을 적용한다(Itoh, 2014).

1) 유가금속 : 값이 나가는 유색 금속을 통틀어 이르는 용어. 금, 은, 코발트, 니켈, 구리 등 유색 금속 광석이나 제련 중간산물, 제련 폐설물 속에 들어 있는 금속

국내 순환경제 또는 자원순환 정책은 '재활용'의 순기능에 집중하여 이를 촉진하는 전략이 우세하다. 금속 제련 산업분야에서는 폐기물의 발생 및 처리가 사회적 문제로 대두되고 있는 가운데 금속 제련 공정 중 생산되는 부산물을 자원화하는 '산업 내 자원순환'과 부산물인 2차 원료를 산업용 골재 및 시멘트 원료 등으로 활용하는 '산업 간 자원순환'을 추구하여 유가금속 회수율을 높여 생산성을 극대화하고, 불순물로 처리되던 불순물을 재활용하여 폐기물을 감축하며 다양한 원료의 활용으로 사회적 문제를 해결하고 있다.

[표1] 각 슬래그의 주성분 및 용도

분류	동슬래그	고로슬래그		전로슬래그	아연슬래그	석탄회
		급냉슬래그	서냉슬래그			
주성분	FeO	CaO	CaO	CaO	SiO_2	SiO_2
주요 용도	시멘트 첨가제, 콘크리트용 골재, 샌드블라스팅	시멘트 첨가용, 콘크리트용 혼화제, 지반개량제 등	자연골재, 도로기초재, 철도포설용	아스콘용 혼화재, 콘크리트용 잔골재	아스콘용 혼화재, 콘크리트용 잔골재	시멘트 혼화제

슬래그 등 금속 생산공정에서의 부산물의 재활용 확대로 인해 환경오염 감소의 긍정적 변화가 있으나 지역 환경단체에서는 제강 슬래그 등의 재활용제품에 대한 유해성 논란을 지속적으로 주장하고 있다. 그러므로 슬래그 등 금속 부산물의 유해성 정보 확인 및 정보 작성과 관련된 제도적 동향을 파악할 필요가 있다.

II. 금속 부산물의 확인

금속 부산물의 확인

환경부는 지난 '15년 1월부터 화평법을 이행하고 있으며 지난 '19년 「화학물질등록 및 평가 등에 관한 법률(이하 화평법)」이 개정됨에 따라 연간 1톤 이상 제조 또는 수입하는 모든 기존화학물질은 등록하도록 규정하고 있다.

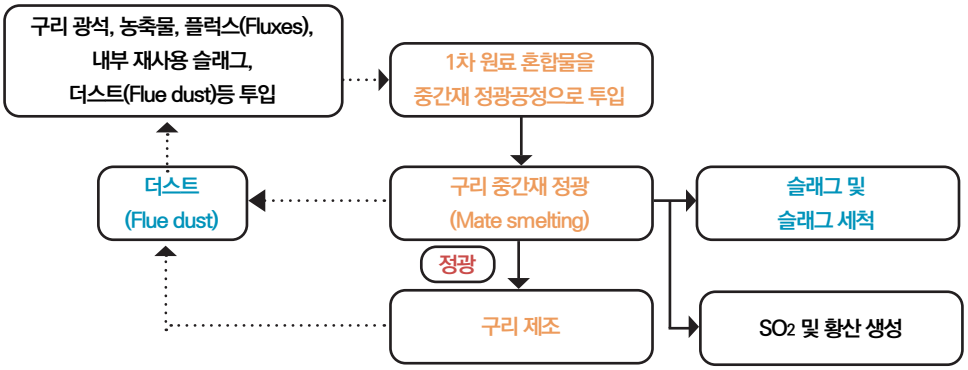
철, 구리, 아연, 니켈 등의 금속 생산공정은 원료가 되는 광석과 광물로부터 원하는 금속을 얻는 각 공정에서 다양한 부산물이 발생한다. 금속공정의 원료에 해당되는 광물(mineral), 광석(ore), 정광(ore concentrate)은 자연에 존재하는 물질로서 화학적 구조가 변경되지 않는 경우 이미 화평법 제11조 제1항 제2호에 따른 환경부고시에 근거 등록 또는 신고 면제대상 화학물질이다. 그러나 원하는 금속 외에 부산물로 얻어지는 물질들은 슬래그(Slag), 더스트(Flue dust), 슬러지(sluge), 폐내화물 등이며 이들 물질은 다양한 금속화합물들로 구성된 복합다성분물질(Substances of Unknown or Variable composition, Complex reaction products or Biological materials, 이하 UVCB) 중 무기 UVCB(Inorganic UVCB)물질에 해당된다.

무기 UVCB물질의 식별정보 확인

무기 UVCB[1] 물질은 모든 구성성분이 확인될 수 없거나 조성이 가변적이므로 구성성분의 CAS 또는 IUPAC[2] 명칭에 근거해서 명명할 수 없다. 무기 UVCB물질은 구성성분과 불순물을 구분하기 어려우며, 일반적으로 무기 UVCB물질의 경우 이미 과거부터 사용된 물질명들이 기존화학물질 목록에 수록된 경우들이 대부분으로, 조성이나 원료 및 공정 외 해당 물질의 CAS 번호에서 제시되는 물질에 대한 설명(description)을 참고하여 적절한 물질명과 CAS 번호를 선택하는 것이 권고된다. 조성, 원료 및 공정의 3가지 요소에 의해서 정의될 수 있다. 이는 유럽 REACH, 미국 유해화학물질관리법(TSCA), 캐나다의 기존화학물질 목록(Canada, 2017)에서도 금속 부산물은 원료, 제조공정 등에 따라 명명되고 있다.

- 금속공정에서 사용된 원료 또는 기원을 기술하고 만약 여러 가지 원료의 조합인 경우 성분 비율에 대해서 기술
- 조성은 무기 UVCB물질내 확인된 구성성분 및 함량을 최대한 기술. 일반적으로 10% 이상 확인된 성분을 모두 기술하되 다만 10% 미만인 성분이라도 분류표시에 영향을 줄 수 있는 유해한 성분인 경우 기술
- 공정정보에 대해서는 전구체(precursor), 적용기술 또는 공정, 공정 파라미터, 공정 단계에 대해서 기술

구리공정의 경우 구리 중간재로부터 정광공정을 통해 구리르 제조하고 SO2(2는 아래첨자로 디자인) 기체 및 황산이 생성된 후 남은 대표적인 부산물이 슬래그{Slag)이고, 철광공정의 경우는 철광석 중의 규소, 알루미늄, 칼슘 등은 환원되지 않고 산화물 형태로 남아 용융되어 있어 용과로 하단의 철을 분리하고 나면, 상부에 이러한 용융산화물이 남는데 이 요융산화물이 슬래그임



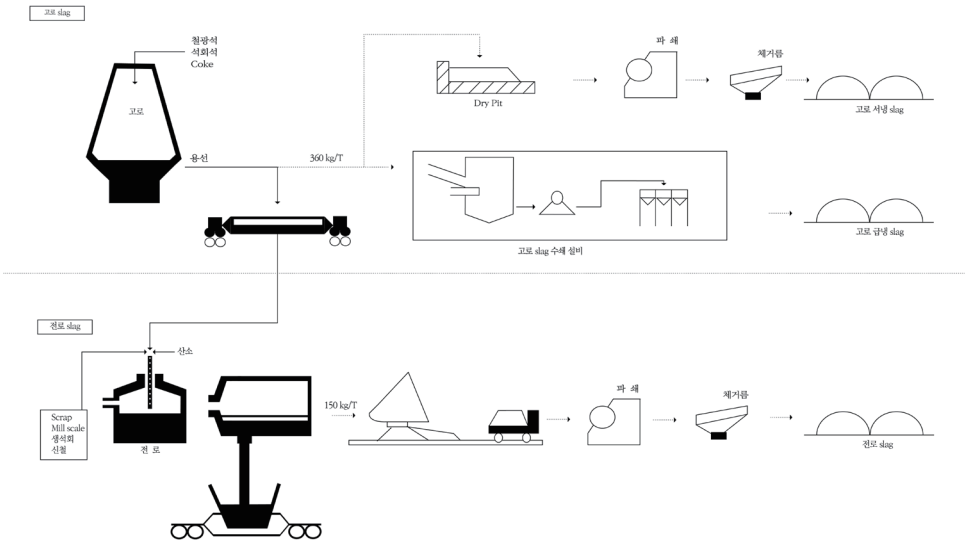
[그림2] 구리 제조공정에서의 슬래그 발생 공정 예시(출처 : 환경부, 2020)

1) UVCB : 다양한 성분이 다수 포함되어 있고 그 함량도 가변적이어서 조성을 확정하기 어렵거나 알 수 없는 물질
2) IUPAC명 : International Union of Pure and Applied Chemistry(국제순수응용화학연합)이 정한 화합물 명명법

[표2] 기존화학물질 목록에서 확인되는 무기 UVCB물질 및 설명 예시

CAS No.	기존화학물질번호	화학물질명	설명
93763-87-2	2015-3-7066	Slags, lead-zinc smelting	Substance formed by processing of chiefly oxidic material with lead and zinc content in a rotating furnace. Consists primarily of Al2O3, CaO, Fe, FeO and SiO2 with other nonferrous compounds as well as carbon.
67711-94-8	KE-19-0006	Slags, copper refining	Mainly copper, copper oxides, some oxides of lead and minor metals, skimmed from the anode furnace and returned to the converter.
69012-50-6	KE-23064	Matte, nickel	Product of blowing smelted nickel ore in a converter to lower the iron content.
67711-91-5	KE-19-0005	Matte, copper	Product of smelting roaster calcines concentrates or cement copper with flux in reverberatory or electric furnaces. Composed primarily of copper and copper, iron and lead sulfides with minor sulfides of other metals.
98072-44-7	KE-16994	Flue dust, precious metal refining	The dust obtained from the refining of materials from primary and secondary sources containing gold, iridium, osmium, palladium, platinum, rhenium, ruthenium and silver. Composed primarily of lead with traces of other metals.

각 슬래그 등 금속 부산물의 화학조성은 원광의 종류 및 부원료의 종류에 따라 달라지며 냉각방식에 의하여 화학적 조성은 변할 수 있다. 예를 들어, 동 슬래그는 주성분이 철(Fe)과 규소(Si) 산화물로 구성되며 다른 슬래그에 비해 Fe의 함량이 2배 이상 높아 시멘트 등의 Fe 원으로 활용될 경우 유리하다.



[그림3] 고로 및 전로 슬래그의 생성 공정

Ⅲ. 금속 부산물의 유해성 정보 작성

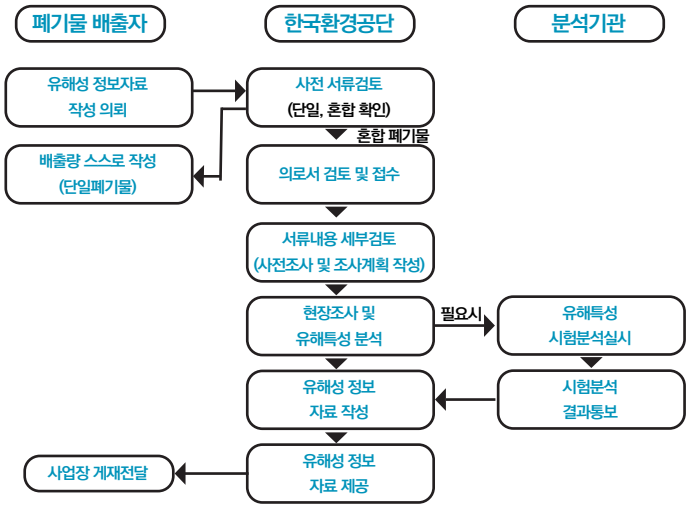
금속 부산물의 유해성은 인체 건강에 영향을 미치는 유해물질이 최종적으로 먹는 물이나 음식물을 통하여 나타나기 때문에 그 유해성 여부는 금속 부산물에서 용출되는 유해물질의 농도에 따라 결정된다. 재활용은 미가공 스크랩[1)]의 수집 및 운송, 전처리, 용융, 정제, 성형 및 가공으로 공정이 구분될 수 있으며 작업자는 용접 또는 용광로에서의 용융, 분진 발생 작업으로 인해 유해물질에 노출될 수 있다.

폐기물관리법에 따른 유해성 정보 확보

금속 제련, 정련 업체는 대부분 폐기물관리법에 따라 폐기물처리업 또는 폐기물재활용업으로 등록되어 있다. 금속 함유 슬래그, 슬러지 등은 폐기물관리법에 따라 지정폐기물(폐광재 등)에 해당된다.

금속물질이 함유되어 있는 폐기물은 사업장 폐기물 배출자가 「폐기물관리법」 제18조의 2(유해성 정보자료의 작성 · 제공 의무)(시행, 2018. 4. 19.)에 따라 작성대상 폐기물의 유해성 정보를 작성하여야 한다. 이 제도는 폐기물의 적정처리에 필요한 폐기물 정보의 구체화·명확화, 폐기물 정보의 신뢰성 제고, 폐기물 배출자, 운반자 및 처리자 간 폐기물의 유해성 정보 상호 공유 및 폐기물 사고대응 및 유해폐기물 안전관리를 위한 제도이다.

사업장 폐기물 배출자는 환경공단에 유해성 정보자료 작성 의뢰시 원료물질의 MSDS 자료(제조자 제공), 보관폐기물 사진, 폐기물 처리계획 확인증명서(배출자신고증명서), 사업자등록증, 폐기물 분석결과서, 제조공정도(투입물질, 폐기물 포함)를 제출하면 환경공단에서는 이를 기반으로 필요시 유해특성 시험분석을 실시하여 유해성 정보자료를 작성하고 이를 사업장에 전달한다.



[그림4] 유해물질 함유 폐기물 유해성 정보자료 작성 체계

1) 스크랩(scrap) : 금속류 물품이 수명을 다한 경우, 재활용을 위한 처리에 들어가는 것, 혹은 그러한 금속. (예) 고철(scrap metal)

금속 폐기물 배출자는 환경공단에 신청하여 수신한 유해성 정보자료를 재활용업체에 제공하여야 한다. 폐기물 유해성 정보자료에는 성분정보, 물리화학적 특성, 취급시 주의사항, 방제 및 조치방법(응급조치, 누출 대처방법, 방재요령 등) 등의 정보가 포함되어 있으므로 이를 기반으로 재활용업체에서는 최종 제품에 대한 유해성 정보자료(MSDS) 작성시 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

■ 폐기물관리법 시행규칙 [별지 제14호의4서식]

폐기물 유해성 정보자료 확인필

※ 뒤쪽의 작성방법을 읽고 작성하시기 바라며, [ ]에는 해당되는 곳에 √표를 합니다. (제3쪽 중 제1쪽)

① 관리번호SY-2018-02(자체번호)		② 작성일(제공일) 2018.10.20	
제공자	③ 상호(명칭) XX케미칼	④ 사업자등록번호 214-86-XXXXX	
	⑤ 성명(대표자) 홍길동	⑥ 성명(담당자) 한석봉	
	⑦ 주소(사업장) 경기도 00시 00구 00(배출사업장기준으로 작성) (전화번호:031-000-0000) (팩스번호:031-000-0000)		
폐기물정보	⑧ 폐기물	폐기물 종류 알루미늄제조공정광재	폐기물 분류번호 (03 - 01 - 01)
		[√]단일 폐기물 [ ]혼합 폐기물	
	⑨ 포장형태	[ ]용기(재질:) [ ]톤백 [√] 차량직접적재 [ ]기타( )	
	⑩ 발생량(톤/년)	50ton/yr	
	⑪ 제조공정	원재료입고(잉곳) → 용해 → 분리 → 응용 → 불순물 분리 → 냉각/회수 → 저장소(광재배출)	

		항목	조사 방법	유해특성 정보	비고
안정성·반응성	⑫ 유해특성	폭발성	[ ]분석 [ ]자료( )	없음	
		인화성	[ ]분석 [ ]자료( )	없음	
		자연발화성	[ ]분석 [ ]자료( )	없음	
		금수성	[ ]분석 [ ]자료( )	없음	
		산화성	[ ]분석 [ ]자료( )	없음	
		부식성	[ ]분석 [ ]자료( )	없음	
		기타	[ ]분석 [√]자료(고시)	폐산, 폐알칼리, 수분과 접촉금지 폐기물	

⑬ 물리적·화학적 성질	성상 및 색	고체	악취	없음
	수분(%)	자료없음	비중	자료없음
	수소이온농도(pH)	10.31	끓는점(℃)	자료없음
	녹는점(℃)	자료없음	발열량	자료없음
	점도	없음	시간에 따른 폐기물의 성상 등의 변화	없음
	기타			

210mm×297mm[백상지(120g/㎡) 또는 백상지(80g/㎡)]

(제3쪽 중 제2쪽)

	항목	조사 방법	주요 성분	비고
성분정보	⑭ 유해물질 용출독성	[ ]분석 [√]자료(연구보고서)	알루미늄(55.9mg/L) 칼슘(5.19mg/L) 칼륨(61.7mg/L) 마그네슘(0.2mg/L)	
	⑮ 유해물질 함량	[ ]분석 [√]자료(연구보고서)	시안(0.86mg/kg) 납(327.95/kg) 비소(3.65mg/kg) 크롬(349.98/kg) 구리(2,953.59/kg)	
	⑯ 수분 등과 접촉 시 화재·폭발 또는 독성가스 발생 우려 성분	[ ]분석 [√]자료(고시)	알루미늄을 함유한 광재 금속성 분진분말은 폐산, 폐알칼리, 수분함량 폐기물과 접촉 시 유독가스 발생우려 있음	화재 폭발 또는 유독가스 발생우려 폐기물의 종류 등에 관한 고시

⑰ 취급 시 주의사항	안전대책	보호구	[√]마스크 [√]장갑 [√]보호안경 [√]기타(보호의)
	저장 및 보관방법		- 지정폐기물에 의해 부식되거나 파손되지 않는 재질의 시설 및 용기에 보관할것 - 밀폐형 차량으로 수집·운반할 것. - 폐산, 폐알칼리, 수분과 접촉하지 않도록 보관할것
⑱ 사고 발생시 방제 등 조치방법	이상조치	응급조치	- 긴급 의료조치를 받으시오 - 접촉시 피부에 묻은 물질을 즉시 닦아내고 흐르는 물에 피부와 눈을 적어도 20분간 씻어내시오 - 오염된 옷과 신발을 제거하고 오염지역을 격리하시오 - 신선한 공기가 있는 곳으로 옮기시오 - 호흡하지 않는 경우 인공호흡을 실시하시오 - 호흡이 힘들 경우 산소를 공급하시오
		누설대책	- 분진·흄·가스를 흡입하지 마시오. - 노출물을 만지거나 걸어다니지 마시오 - 물웅덩이 등기를 흘이의 누출물이나 용기에 물이 들어가지 않도록 하시오 - 건조모래/흙, 기타 비가연성 물질로 덮은 뒤 확산 및 비와의 접촉을 막기 위해 플라스틱 시트로 덮으시오
		화재시의 조치	- 입자상 분말 소화약제, 건조 모래, 석회, 소다회로 소화 (물, 포말 소화약제 금지) - 질식소화시 건조한 모래 또는 흙을 사용할 것 - 열, 스파크, 화염에 의해 점화할 수 있음뿐 또는 습한 공기와 접촉시 점화할 수 있음
	약품, 장비 및 방제요령		- 적절한 보호구를 착용하시오. - 지역을 벗어나 안전거리를 유지하여 소화하시오

⑲ 특별 주의사항	- 물 또는 폐산, 폐알카리 등과 접촉시 폭발, 화재, 유독가스 발생 우려가 있음 - 운반 및 취급과정에서 수분 접촉 금지 - 운반 및 취급시 톤백의 훼손 등으로 인한 흩날림 또는 유출 주의 - 피해야 할 물질 : 산, 가연성 물질, 산화제, 금속, 금속염, 금속 산화물, 할로겐, 환원제, 할로 탄소 화합물,과산화물, 금속 카바이드, 알코올

⑳ 그 외의 정보	- 물 또는 폐산, 폐알카리 등과 접촉시 폭발, 화재, 유독가스 발생 우려가 있음	폐기물의 주원료 : 알루미늄제조공정광재	배출업종코드 : 24222 알루미늄 압연, 압출 연신제품 제조업

[그림5] 유해물질 함유 폐기물 유해성 정보자료(양식)

화평법에 따른 유해성 정보 확보

환경부 화평법의 개정에 따라 금속 부산물을 재활용하여 시멘트 원료, 다른 금속화합물의 생산에 사용할 경우 재활용된 금속 부산물은 UVCB물질로 등록한다. 등록시 화학물질명 및 CAS 번호, 특히 해당 물질이 CAS 번호 외 물질의 정의 및 설명에 부합하는지 확인하여야 하고 동질성 확인을 위해 원료 및 공정에 대한 설명을 자세하게 작성하여 제출해야 한다.

유해성 정보는 제조 또는 수입 톤수에 따라 물리화학적 특성, 인체유해성 및 환경유해성 등 15 – 47개 항목을 필수적으로 제출하도록 하고 있으며, 연간 10톤 이상 제조 또는 수입할 경우 위해성 평가 자료도 필수적으로 제출하여야 한다. 유해성 평가시 상관성 관계(read-across) 방법, 블록 프로파일링 접근 등 유사물질에 근거한 자료를 제출할 때 등록물질과 유사물질 간의 유사성 등에 대한 충분한 근거를 제시(예: UVCB물질 내 10% 이상의 확인된 성분 및 함량, 단, 유해성 분류와 관련된 구성성분의 경우 10% 미만이라도 제시)하여야 한다.

금속 UVCB물질은 그 자체로 시험하거나, 등록 구성성분의 유해성 정보를 기반으로

혼합물 GHS 분류방법에 따라 분류 및 등록할 수 있다. 일반적으로 물리화학적 특성 항목 중 금속 UVCB물질 그 자체로 녹는점, 끓는점과 변환/용해(Transport/Dissolution) 프로토콜(Protocol)(이하 TDp시험) 시험자료를 생산한다. 특히 TDp시험은 수용해도를 측정하기 어려운 금속 및 금속화합물의 수계에서의 변환/용해 정보를 확인할 수 있으며 이를 기반으로 환경유해성 평가 및 분류시 활용된다. 그 외 인체건강유해성 및 환경유해성 정보는 해당물질 자체로 시험된 자료가 있는 경우에는 그 정보를 활용하여 「화학물질의 분류기준 및 표시 등에 관한 규정」에 따라 분류 및 유해성 평가를 한다.

그러나 해당물질 자체에 대한 정보가 없는 경우에는 각 구성성분에 대한 항목별 이용 가능한 유해성 정보를 수집하고 「화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정」에 따라 가산방법 및 한계함량 등을 적용하여 분류할 수 있다. 다만, 정광 또는 광석 등 금속 UVCB물질의 생체 이용률과 독성은 입자의 물리적 형태, 미네랄 구성 및 구조(결정성 대 비결정질), 환경 및 생리적 변수에 의해 완화된다. 예를 들어 먼지와 분말은 거대한 형태와 다른 위험을 초래한다. 전해질, pH, 리간드, 환경에서의 산화 환원, 노출경로, 인간의 흡수/분포/대사/배설 특성에 따라 유해성에 영향을 미칠 수 있다. 조성이 다양하여 조성에 따라 유해성 분류가 달라지는 경우는 보수적으로 독성이 높은 조성으로 하나의 등록서류를 준비하거나 유해성 분류가 각각 다른 등록서류로 준비할 수 있다.

물질안전보건자료 작성

금속 부산물의 폐기물 배출시 작성되는 정보와 재활용하여 원료물질로 등록시 제출된 성분 정보를 기반으로 물리적 위험성, 인체 및 환경 유해성 정보를 확보할 수 있다. 다만 산업안전보건법 시행령 제86조(물질안전보건자료의 작성·제출 제외대상 화학물질 등)의 제14호에 따라 폐기물관리법 제2조 제1호에 따른 폐기물은 MSDS 작성·제출 제외대상이다.

그러나 화평법 제29조 및 규칙 제35조, 36조, 37조에 따라 등록·신고된 화학물질 및 이를 함유한 혼합물과 등록 유예기간 동안 등록되지 않은 기존화학물질 중 유해화학물질 및 이를 함유한 혼합물(유해화학물질이 물리적 위험성, 건강유해성 또는 환경유해성이 있는 것으로 분류되는 함량 기준에 해당하는 경우로 한정)에 대한 유해·위험성 정보와 안전사용 정보를 양도자가 양수자에게 제공하도록 의무화하고 있다. 또한 이러한 물질이 산업안전보건법 제110조에 따른 물질안전보건자료(이하 MSDS) 작성 대상 물질의 경우 MSDS내 등록 및 신고된 정보가 전달되도록 규정하고 있다.

원료로 취급하기 위하여 금속생산공정에서 발생한 부산물을 등록한 업체는 등록된 정보를 기반으로 MSDS를 하위사용자에게 제공하여야 한다. 또한 금속생산공정에서 생산된 부산물을 사용하여 시멘트를 제조하는 업체는 제공받은 MSDS의 안전 취급 방법을 참고하여 취급하여야 하며 시멘트의 MSDS를 작성하고 이를 하위사용자에게 제공하여야 한다.

금속 폐기물 재활용 과정 및 순환경제 정책의 발달로 인하여 생산되는 금속 UVCB물질은 구성성분 및 함량정보는 명확하게 파악하기 어려우나 화평법에 따라 등록하면서 물질분석과

공급망내 화학물질 정보전달의 강화 등을 기초로 신뢰성 있는 정보가 생성되고 전달되고 있다. 공급망내 제공되는 화학물질 안전정보는 다음과 같다.

MSDS 제3항 구성성분 및 함유량 작성시 제품의 구성성분은 금속 부산물 UVCB에 해당되는 CAS No.와 물질명을 기재하고 함량을 기재한다. 금속 무기 UVCB물질의 CAS No.가 없는 경우에는 해당 물질명을 공정 및 취급조건 등을 기반으로 명명하고 함량은 물질 전체로 기재한다.

만약 금속 부산물의 MSDS 작성시 합금과 유사하게 혼합물 MSDS 작성방법에 따라 제3항을 UVCB내 확인된 각 금속 또는 금속산화물을 기재할 경우 각 함량 범위가 다양한 물질 특성으로 인해 MSDS 작성지침의 각 성분별 함량변화의 폭이 ± 5 퍼센트포인트(%P) 이내로 작성하여야 하는 기준을 충족하여 작성하는 것이 제한적일 것이다.

화평법에 따라 등록된 물질은 등록 정보를 기반으로 물리화학적 특성, 건강 및 환경유해성 정보를 확보하여 MSDS를 작성할 수 있으나 등록 유예기간내의 등록되지 않은 화학물질은 인체 건강 및 환경 유해성의 유해성 분류시 제한된 정보를 활용하여 분류기준에 적용하여 분류 결과가 보수적으로 평가될 수 있을 것이다.

슬래그 등 금속생산공정에서 발생하는 부산물을 포함하여 대부분의 금속 및 그 화합물은 산업안전보건법에 따라 관리대상유해물질, 작업환경측정대상 물질 등으로 지정 관리되는 물질로 유해성이 있는 물질이다.

그러므로 제품내 구성성분의 정보를 최대한 확보할 수 있도록 화학적 분석 및 공급망내 정보수집을 위해 노력하여야 할 것이다. 최근 화평법에 따라 등록된 화학물질의 유해성 심사결과 유독물질로 지정되는 물질의 증가로 기업에서는 관련 규제 이행의 부담이 가중되고 있다. 이에 기업 스스로 부족한 정보 또는 좀 더 신뢰성 있는 정보를 확보하기 위하여 대상물질 자체에 대한 유해성 정보를 생산하여 유해성 분류 변경 등록을 하는 기업이 증가하고 있다. 이러한 기업의 변화는 화학물질 등록 제도 도입의 긍정적인 측면이라고 사료된다. 또한 수집된 정보를 기반으로 UVCB물질의 MSDS를 구성성분 및 함유량 정보, 유해성 분류시 고려사항(입자크기(덩어리, 분말), 취급 조건(온도, pH 등)), 안전 사용에 관한 작업조건 등을 충분히 포함하여 신뢰성 있게 작성하여야 하며 근로자, 응급조치요원 등이 활용할 수 있도록 하여야 할 것이다.

Ⅳ. 마치며

지난 2018년 12월 「산업안전보건법」의 전면개정에 따라 화학제품(단일물질 또는 혼합물)을 제조 또는 수입하는 기업은 유해성으로 분류되는 제품의 MSDS를 제110조에 근거하여 MSDS 작성·제출하도록 하였다. 이로써 화학물질의 유해성 정보가 확보되어 안전보건 정책의 질적인 전환이 예상된다.

최근 금속생산공정에서 발생하는 부산물의 재활용 및 재사용 확대됨에 따라 화학물질 관리 규제도 변화하고 있다. 예를 들어 철강사의 산업폐기물인 제강분진을 수거하고 이를 처리하여 원료물질을 생산하는 경우 해당 폐기물 재활용업체는 화평법에 따라 원료물질을 제조하였으므로 등록의무와 이에 대한 유해성 및 안전사용 정보를 제공하여야 한다. 또한 MSDS도 신뢰성 있는 정보를 기반으로 작성 및 제출하도록 하여 공급망 내 유해성 정보전달은 그 중요성이 더욱 확대될 것으로 기대된다.

이러한 산업적 전환 및 제도적 변화에 맞추어 재활용 금속 무기 UVCB물질의 신뢰성 있는 정보전달을 위해 원료물질의 성분 및 물질 특성을 정확하게 파악하여야 할 것이다. 또한 물질 특성을 고려하여 함량정보 작성 기준 및 유해성 정보와 안전한 사용 방법을 MSDS에 충분히 반영하여 공급망내 제공될 수 있도록 지속적인 관리가 필요하다.

참고문헌

- 2050탄소중립녹색성장위원회. 2050 탄소중립 추진전략. 관계부처합동. 2020.
- 국가과학기술자문회의. 2050 탄소중립을 위한 플라스틱 자원순환 혁신 전략. 2021.
- 국회미래연구원. 순환경제 미래산업 전략. 2022.
- 한국건설기술연구원. 동제련 슬래그의 건설재료 활용 및 기준 개발집. 2000.
- 한국산업안전보건공단. MSDS 작성지침. 2020
- 한국환경공단. 유해성 정보자료 작성 배출자 교육자료. 2018. 09.
- 환경부. 제1차 자원순환기본계획(2018~2027). 관계부처합동. 2018.
- 환경부. 복합다성분물질(UVCB) 등록 등 실무가이드. 2020
- 환경부. 화학물질 정보제공 및 안전정보 제외승인신청 실무가이드. 2020
- Environment and Climate Change Canada Health Canada. Draft Screening Assessment Sector-specific Inorganic UVCBs Group. 2017

OSH RI:VIEW

02

Practice

01. 소규모 사업장 화학물질 관리 프로그램 매뉴얼 개발

- 유해화학물질로부터 건강하게 작업하기

02. 화학물질 유해성 평가를 위한 디지털 독성병리 적용시스템 기반 구축 연구

Practice는 산업안전보건연구원이 연구사업을 통해 실용화된 사례(실제 정책반영, 지침개발, 제품생산 등)를 소개합니다.

01

소규모 사업장 화학물질 관리 프로그램 매뉴얼 개발 - 유해 화학물질 로부터 건강하게 작업하기

50인 미만 사업장(이하 "소규모 사업장")은 국내 안전보건 분야, 화학물질 관리에 있어 주요한 부분이나, 그 인적 · 재정적 제한성으로 인하여 정부의 지원을 필요로 한다. 물론 산업보건, 특히 화학물질 분야에 대한 정부지원사업은 지속적으로 수행되어 왔으나, 소규모 사업장의 안전보건 관련 현황을 고려하였을 때 여전히 문제가 있는 것으로 확인되었다. 이에 소규모 사업장 화학물질 분야 정부지원사업의 수용성과 효과성을 높이기 위한 목적으로 RIEC 프로그램을 제안하였다. 이는 정부지원사업의 패러다임 전환을 위한 효과적인 모델로서 이 프로그램의 단계별 시범사업을 통해 현장에 적용할 수 있는 구체적인 방법(활동가 매뉴얼과 사업장 매뉴얼)을 개발하였으며, 이 과정에서 소규모 사업장의 화학물질 관리 역량 향상을 위해 고려해야 할 요소들을 도출 · 제시하였다.

〈RIEC Program〉

❶ Recognition 【인지】 화학물질 관리, 정말 필요한 것인가요?
❷ Identification 【구별】 우리 사업장에서 유해·위험한 물질은 무엇인가요?
❸ Evaluation 【평가】 우리 사업장에서 관리해야 할 화학물질의 우선순위는 무엇인가요?
❹ Control 【조절】 위험을 줄이는 실현 가능한 방법은 무엇인가요?

연구책임자
박미진 실장 | (재)원진직업병관리재단 노동환경건강연구소

연구상대역
이혜진 연구위원 | 산업안전보건연구원 산업화학연구실
042-869-0351 | hana1226@kosha.or.kr

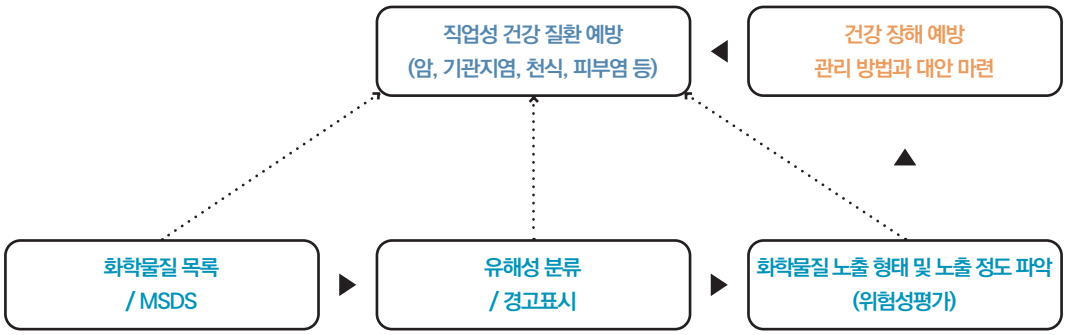
박미진
실장

이혜진
연구위원

I. 배경

우리나라에서 소규모 사업장을 대상으로 한 보건관리 정부 지원은 1993년부터 시작되었다. 이후 30년 동안 지속되어 왔으나, 소규모 사업장의 화학물질 관리나 산업보건 대행 혹은 위탁과 관련된 연구는 체계적으로 활발하게 이루어지지 않았으며, 과거부터 지적되었던 문제들이 여전히 남아있는 것을 알 수 있었다. 박미진 등(2021)의 최근 연구 결과에 따르면 소규모 사업장에 정부 지원은 필수적이나 현재의 방식은 개선이 필요하며, 낮은 비용과 단기적이고 물량 위주의 진행방식으로 인해 사업장과 신뢰 관계를 형성하고 작업환경을 개선하는 등의 서비스를 제공하는 것 자체가 어려운 구조임을 확인하였다. 또한 화학물질 관리에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 전문가와 사업주가 생각하는 바가 다르며, 현재 사업장의 화학물질 관리나 정부지원사업의 내용은 산업안전보건법에 따른 감독에서 요구하는 MSDS 관리, 작업환경측정, 특수건강진단, 교육 등에 중점을 두고 있는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 이러한 산업보건제도의 개별적 이행만으로는 사업장에서 사용하는 화학물질의 유해성을 분류하고, 노출평가를 통해 효과적으로 작업환경을 개선.관리하는 방향으로 이어지지 않고 있다. 따라서 사업장의 화학물질 관리 역량에 영향을 주는 요인 구조를 이해하고, 화학물질 관리의 각 단계에서도 그 궁극적인 목적에 기여하는 방식을 이해할 필요가 있다.

[그림1] 화학물질 관리역량에 영향을 주는 요인의 흐름



[그림2] 화학물질 관리의 각 단계와 목적(질환 예방)과 방법(관리와 대안)

본 연구는 지금까지의 한계점을 극복하기 위한 새로운 소규모 사업장 정부 지원 사업 모델의 적용에 관한 것이다. 정부 지원 사업에 대한 접근 패러다임의 전환은 기존의 공급자와 물량 중심에서 사업장 관점의 역량 개선 관점으로 변경하는 것이며, 이에 따라 사업장에서 화학물질을 왜, 어떻게 관리해야 하는지에 대한 매우 구체적인 방법론을 제시하고자 하였다.

II. 실용화 내용

소규모 사업장의 화학물질 관리를 위한 맞춤형 모델로서 RIEC(릭)/인구평조 프로그램을 제안하였다. 이 프로그램의 핵심은 사업장 중심의 사고이다. 사업장에서 알아야 할 산업보건의 기본 개념을 소규모 사업장에 맞도록 인지(Recognition), 구별(Identification), 평가(Evaluation), 조절(Control)로 재구성하였다. 첫 단계는 대화를 통해 사업장의 관점에서 화학물질의 유해성과 관리 필요성을 인식하게 하고, 두 번째는 사업장에서 사용하는 유해물질을 구별해내고, 세 번째는 위험의 수용 가능성을 평가하여, 네 번째로 노출을 조절하고 개선하는 원리를 적용하였다.

R (Recognition: 필요성 인식): 화학물질 관리 정말 필요한 것일까요?	
[사업장] 화학물질 관리 필요성 인식	[보건 서비스] 사업장과 신뢰 관계(Rapport) 형성 RIEC(릭)/인구평조 프로그램에 대한 맥락적 이해

I (Identification: 유해한 화학물질 구별): 우리 사업장에서 유해·위험한 물질은 무엇일까요?	
[사업장] 화학물질 목록 작성, MSDS 확보	[보건 서비스] 제품과 MSDS 확인, 유해성 분류, 법적 규제사항 확인, 문헌 조사

E (Evaluation: 위험성 평가): 우리 사업장에서 관리해야 할 화학물질의 우선순위는 무엇인가요?	
[사업장] 노출 가능성 파악, 사용 여부 결정	[보건 서비스] 노출 가능성 및 수준 파악, 위험 수준 결정, 고위험작업 선정

C (Control: 조절, 관리와 개선): 위험을 줄이는 실현 가능한 방법은 무엇인가요?
1. 정말 필요한 물질인지 한 번 더 생각하기(과도한 화학물질 사용 지양) 2. 위험한 물질 대신 더 안전한 것을 선택하기(구매 전 유해성 확인) 3. 최대한 안전한 방법으로 화학물질 사용하기(스프레이, 파우더 사용 지양) 4. 위험한 물질에 노출되지 않도록 공정을 개선하기(밀폐/차단, 온도 조절 등) 5. 환풍기를 가동하거나, 문을 열어 환기하기 6. 화학물질을 사용하는 곳 가까이에 국소배기장치 설치하기 7. 위험한 작업에는 필수 인원만 배치하기 8. 작업자에게 적절한 개인보호구 지급하기 9. 전문가에게 도움을 요청하기

[그림3] RIEC(릭)/인구평조 모델

이를 기반으로 기본적인 과정을 설계하였으며, 실제 이 과정을 사업장에 시범 적용할 활동가들의 질적으로 균질한 사업 수행과 결과 환류를 위해 3종류의 매뉴얼(① 활동가 매뉴얼, ② RIEC(릭)/인구평조 프로그램 매뉴얼, ③ 활동일지)을 다음과 같이 구성하였다.

<1. 활동가 매뉴얼>

▶ 사업장과 신뢰 관계를 형성하며 감독 및 교육이 아닌 이야기를 나누는 것이 사업의 핵심이다.
▶ 따라서 사업장에 방문하는 전 과정에서 활동가의 세심한 관심과 노력이 필요하다.
▶ 방문 전 주의사항, 각 단계별 핵심 목표 및 진행 내용 등에 대한 자세한 진행과정을 설명하고 있다.

⇩

<2. RIEC(릭)/인구평조 프로그램 매뉴얼>

▶ 사업장의 사업주, 담당자, 노동자들과 눈을 맞추고 그림을 보면서 대화하는 방식으로 인지, 구별, 평가, 조절을 전달하기 위한 매뉴얼이다.
▶ 화학물질 관련하여 처음 듣는 전문적인 내용도 거부감 없도록 쉽고 편안한 분위기 조성이 중요하다.

⇩

<3. 활동 후 활동일지>

▶ 사업장 방문 후 활동가가 작성하는 자료이다.
▶ 추후 본 사업이 실시될 때, 많은 활동가에게 도움이 될 수 있는 내용을 추가 조사하여 활동가 매뉴얼 발전에 활용할 예정이다.
▶ 좋은 아이스 브레이킹 사례 조사, RIEC(릭)/인구평조 매뉴얼 평가, 기존 활동가 매뉴얼의 활용성 등이 포함되어 있다.

[그림4] 활동가 매뉴얼, RIEC(릭)/인구평조 프로그램 매뉴얼, 활동일지의 관계

본 연구에서는 이 매뉴얼(3종)을 활용하여 다음과 같은 절차로 일부 단계(R, I)에 대한 시범사업을 수행하였다.

참여 기관 결정(2개 기관)

- 작업환경측정 혹은 민간 위탁지원 사업 참여 경험 보유
- 시범 사업 수행 전 매뉴얼(3종) 교육

시범 사업 대상 선정(20개소)

- 화학물질 다량 취급 혹은 고독성 화학물질 취급 사업장
- 일반 현황, 기관-사업장간 신뢰관계(Rapport) 형성 정도 등 사전 확인

시범 사업 수행(R, I 단계)

R1-인지 단계

- 화학물질 인식 설문 조사(사업전)
- 사업장과의 신뢰관계 형성 및 사업장의 화학물질 관리 필요성 인식 고취
- 시범 사업 취지 안내

R2-인지 단계

- 아이스 브레이킹(Ice breaking) 시도
- 사업장 유형(반응자/학습자/회피자) 분류
- 위험성평가 목적 및 방법, 화학물질 노출 저감을 위한 관리 방안 이해
- 현장 확인(공정 및 작업, 화학물질 사용 현황 및 형태 확인)

I1-구별 단계

- 공정 및 사업장 사용 화학물질 확인(화학물질 목록 구비 여부 확인)
- MSDS 구비 방법, 사업장에서 사용하는 물질들의 유해성이 포함된 화학물질 목록 관리 방법 습득

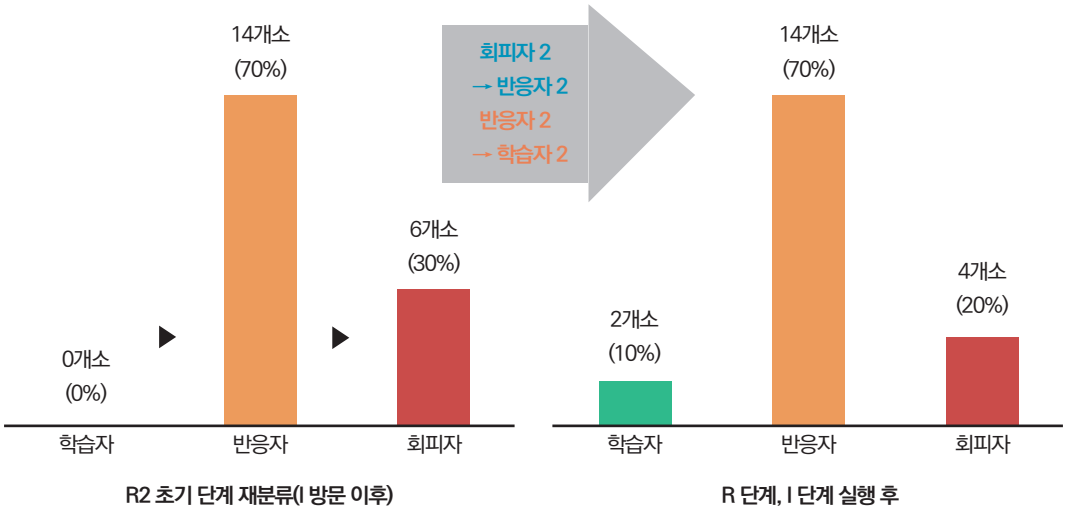
I2-구별 단계

- I1 단계에서 정리한 결과물(화학물질 목록, 고독성 물질 목록, MSDS) 전달
- 화학제품 선정 시 MSDS를 통해 유해성과 법적 규제현황을 확인하고 화학물질 목록을 유지·관리하는 방법과 화학물질의 유해.위험성을 구분하고, 경고표지를 통해 유해성을 확인하는 방법 습득
- 사업장 유형(반응자/학습자/회피자) 재분류
- 화학물질 인식 설문 조사(사업후)

시범 사업 결과 분석

- 시범 사업 전과 비교하여 사업장 유형 분류[2)]에서 향상된 경우는 4개소로 확인되었다.
  - · 회피자: 산업안전보건관리를 등한시하고, 강제적인 상황에서만 대응하는 자
  - · 반응자: 최소한의 법적 준수를 통해 산업안전보건에 대한 반응형 접근방식을 취하는 자
  - · 학습자: 산업안전보건과 관련하여 적극적이고, 포괄적인 준수를 목표로 하는 자

2) EU OSHA. Safety and Health in micro and small enterprises in the EU: Final report from the 3-year SESAME project. 2018.



[그림5] 시범 사업을 통한 사업장의 유형 변화

- 사업장의 MSDS 구비 정도를 구분한 결과, 빠짐없이 구비하고 있는 경우는 35%, 비교적 잘 구비한 경우는 40%, 일부만 보유한 경우는 25%로 확인되었다. 그런데 유해 화학물질 정보를 포함한 화학물질 목록이 없는 경우가 85%(17개소)였으며, 나머지 사업장도 기관 제출용으로 화학물질의 유해성 관리 자체를 목적으로 목록을 구비한 것은 아니었다. 즉, MSDS가 유해성 정보인식으로 수단으로 사용되기보다 MSDS 비치 자체의 의미로만 작동되고 있음을 알 수 있었다.
- 본 프로그램의 인지(R) 단계와 구별(I) 단계에 대한 평가는 70%(14개소)가 긍정적이었으며, 30%(6개소)는 약간 부정적이었다. 특히, 구별(I) 단계에서 사업장에 화학물질/고독성물질 목록과 MSDS를 완비하여 전달한 것에 대한 반응도 75%는 긍정적으로, 자체역량으로는 불가능한 매우 유용한 서비스라고 표현하였다.
- 본 프로그램을 직접 수행한 산업보건활동가의 주관적 평가에 따르면 사업장의 95%(19개소)에서 긍정적인 느낌을 받았으며, 그 이유는 지속적인 만남을 통해 생각을 공유하고, 대안이 없는 사업장의 입장도 더 깊이 이해하게 되었기 때문이었다. 아울러 정부 지원의 기존 사업과의 차별성으로는 "방법을 알려주고, 함께 길을 찾는 방법"이라고 표현하였다.

본 RIEC(릭)/인구평조 프로그램을 통하여

- R : 화학물질 관리 필요성 인지 단계는 소규모 사업장의 관점에서 이해할 수 있는 언어로 필요성과 관리 방법의 개념을 숙독하게 하는 역할을 할 수 있으며,
- I : 구별 단계에서 외부 산업보건 서비스 제공자가 사업장 맞춤형 화학물질 목록과 MSDS를 갖추는 작업을 수행함으로써 사업장에 실질적인 도움을 줄 수 있다.

또한 이 과정에서 대화를 통한 학습과 구체적인 정보 제공으로 소규모 사업장 화학물질 관리 역량 향상에 기여할 수 있을 것이다.

본 프로그램을 기반으로 하는 지원 서비스를 위한 상세한 활동가 매뉴얼과 사업장 매뉴얼을 통하여 활동가들의 서비스 질을 균등하게 향상시킬 수 있으며, 활동일지의 지속적인 피드백을 통하여 사업의 개선점을 도출하는 등 화학물질 정부지원사업에 즉각 유용하게 활용할 수 있으리라 기대한다. 아울러 현재 R-인지, I-구별 이후 단계인 E-평가, C-조절에 대한 시범 사업을 이어서 진행 중이다. 이로서 RIEC(릭)/인구평조 프로그램의 전 단계 실행을 통하여 현장 적용성을 높이는 방안과 구체적인 사업화에 있어 고려해야 할 사항을 정리하고, 향후 사업의 방향성을 제시할 예정이다.

[그림6] RIEC(릭)/인구평조 프로그램 매뉴얼 예시

참고문헌

- 박미진 등. 소규모 사업장 화학물질 관리 역량 향상을 위한 연구. 산업안전보건연구원 2021
- EU OSHA. Safety and Health in micro and small enterprises in the EU: Final report from the 3-year SESAME project. 2018.
- 박미진 등. 소규모 사업장 화학물질 관리 지원 사업 모델 적용(II). 산업안전보건연구원. 2023.

02

화학물질 유해성 평가를 위한 디지털 독성병리 적용시스템 기반 구축 연구

화학물질의 생체 내 유해성을 판단하기 위해 실시한 GLP 독성시험의 자료 중 병리데이터에 대해 자료의 손실을 방지하고 추후 빅데이터 이용을 위한 선제적 확보를 위해 기존 자료를 디지털화 하였다. 국내·외 디지털 병리 관련 기술 및 규제현황을 분석·조사하고 일부 시험 자료에 대한 전체 슬라이드 이미지 자료를 확보하면서, 필요한 기관 내 병리데이터의 디지털화 관련 기준에 대한 매뉴얼 및 진단 용어에 관한 사항을 작성하였다. 이를 통해 흡입독성시험 데이터의 주요 장기별 병변 등의 디지털화(Digitalization) 및 보존을 위한 기반을 마련하였다.

조은상
연구위원

연구책임자
조은상 연구위원 | 산업안전보건연구원 흡입독성연구센터
042-869-8513 | escho@kosha.or.kr

I. 배경

화학물질의 생체 내 유해성을 판단하기 위해 실시하는 독성시험 분석 방법 중 병변 슬라이드의 제작 및 판독 분야에서 형태 분석 및 디지털화 관련 기술들이 지속적으로 개발중이다. 또한, 코로나-19를 지나며 데이터망에 대한 원격접속 및 원격 진단(회의)에 대한 요구도가 커지고 있다. 현재 흡입독성연구센터에서 수행한 우수실험실 운영기준(Good laboratory practice, GLP) 흡입시험 시료 및 데이터들은 표준작업지침서(Standard operating procedure, SOP)에 따라 보관되고 있으며, 정해진 보관 기한에 따라 유지되고 있다. 특히 기존 병리유리슬라이드의 경우 염색상의 변화 등으로 유효 기한이 정해져 있는데, 기존 자료의 손실을 방지하고 빅데이터 자료의 선제적 확보를 위해 기존 자료를 디지털화 하는 과정이 필요하다. 그러나 이에 대한 기관 자체적인 기준이 존재하지 않아, 국내·외 가이드라인 등을 참고하여 차후 해당 데이터를 처리하는 과정에 대한 일련의 매뉴얼이 요구되며, 또한 병리 슬라이드 자료의 디지털화 및 차후 AI를 이용한 진단 영역까지 시스템 구축을 위하여 기존 자료에 대한 통일성 있는 용어 적용이 필요했다.

II. 실용화 내용

디지털 병리 관련 국내·외 가이드라인 및 연구 현황

각국의 가이드라인 및 지침 등에서 정의되는 디지털 병리는 보편적으로 스캐너를 이용해 병리 슬라이드를 디지털화 하여 저장한 후 해당 영상을 이용해 진단업무까지 이뤄지는 것을 말하며, 전체슬라이드이미징(Whole Slide imaging, WSI), 원격병리, 프로그램을 활용한 보조적 의미의 진단 등을 모두 포함한다. 현재 많은 국가에서 비임상 및 임상 분야의 디지털 병리의 도입을 진행 중이고, 몇몇 국가에서는 해당 장비의 의료기기 등록을 허가했으며 해당 시스템의 의료보험 적용을 위한 수가를 정비 중에 있다. 국내에서는 대한병리학회 의료정보연구회를 중심으로 국내 의료기관들의 디지털 병리 시스템의 도입과 운용을 목적으로 권고안이 작성되었으며, 이 권고안은 꾸준히 업데이트 되고 있다.

또한 디지털 병리 관련 사업은 크게 하드웨어, 소프트웨어 및 스토리지로 나눌 수 있는데, 슬라이드의 디지털 이미징을 위한 스캐너를 중심으로 하드웨어 부문이 크게 성장했고, 이후 WSI의 입력, 분석 및 관리를 위한 소프트웨어 및 AI의 발달을 중심으로 분석 알고리즘이 발전했다. 또한 의료데이터의 관리 및 개인정보 보호와 관련, 스토리지 부분의 드라이브(서버, 이동식), 클라우드 및 하이브리드 방식 등 다양한 형태의 데이터 관리가 이뤄지고 있다. 독성시험과 관련되어, 슬라이드스캐너를 중심으로 하드웨어를 탐색한 결과, 3DHistech, Carl Zeiss 및 Leica에서 출시된 제품이 주로 이용되고 있고 최신 모델의 경우 소형 샘플을 기준으로 30초 정도의 빠른 스캔 속도를 보여 슬라이드 스캐너의 기술 개발 현황을 가늠할 수 있는 기준점으로 활용할 수 있다. 또한 스토리지 부분의 서버 또는 클라우드 현황에서 국내의 경우 IT 인프라가 잘 발달되어 있음에도

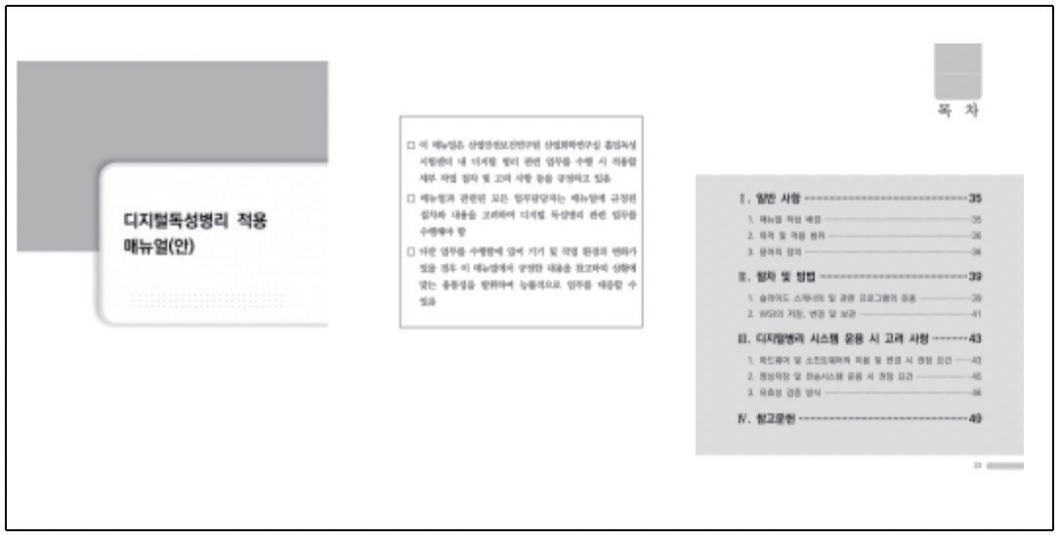
독성시험과 관련된 기록 전반에 대한 데이터 클라우드 서비스나 이미징 파일을 서버형태로 접속할 수 있는 시스템은 거의 없었다. 국내·외 AI와 결합한 디지털 병리 관련 기술은 대부분 의료기술 및 임상시험 분야에 집중되고 있으나 〈표1〉의 경우처럼 현재 비임상 독성시험과 관련된 다수의 국내 연구가 진행 중이며, 국외의 경우 AI를 이용한 특정 병변의 탐색, 계측 및 정량화 관련 연구가 주로 진행되는 것으로 확인되었다.

[표1] 디지털 병리 및 AI 학습을 이용한 비임상 독성시험 관련 국내 주요 연구

연구 제목 (연구 기간)	주요 연구 내용
· 골수독성평가에 있어서 인공지능을 이용한 세포밀도 평가 및 제자리 세포 감별 분류법 개발 (2022-2025)	· 인공지능을 이용하여 골수세포의 독성을 평가하기 위한 분석방법을 개발 · 골수 세포밀도를 정량적으로 산출하는 분석방법 연구
· 조직투명화기술을활용한AI기반전임상 독성 평가모델 개발 (2020-2022)	· 신약 화합물에 대한 중추신경계와 혈관의 변화를 조직처리 신기술을 이용, 3차원 바이오 이미징 확립 및 인공지능 (AI)와 3차원 이미징소프트웨어를 활용하여 비교 분석 · 신약 화합물에 대한 독성평가 시스템 확립 및 평가 모델 구축
· 차세대 독성병리 진단 기반 구축 연구(1) (2020-2023)	· 주요 장기에 대한 다량의 디지털 병리 슬라이드 아카이브를 마련 및 인공지능 모델에 적용하기 위한 형태로 병변 이미지 데이터셋을 구축 · 병리 이미지에 최적화된 인공지능 모델을 개발 및 검증하여 인공지능 기반의 독성병리 진단 알고리즘과 프로그램의 개발
· 독성조직 진단 맞춤형 데이터 구축 플랫폼 개발 (2022-2024)	· 병리조직이미지에서 소견 선택 방법에 대해 절차서 제작 · 대량의 병리조직 이미지에 대해 자동으로 라벨링을 할 수 있도록 기초 엔진 개발 · 인공지능 알고리즘을 위한 다양한 형태의 라벨과 데이터셋을 지원할 수 있는 라벨링프로그램을 설계
· 머신러닝과3차원홀로그래피 현미경을 이용한 알레르기 비염과 천식의 바이오 이미징 진단 기술 개발 (2021-2024)	· 알레르기 비염 및 알레르기 천식에 대해 면역세포를 기반으로 바이오이미징 데이터 축적 및 인공지능 머신러닝을 이용한 진단 시스템을 구축 · 나노입자의 표적 전달 시스템에 대한 치료 효과를 머신러닝으로 분석하는 기술을 개발
· AI 실시간 조직판독 시스템 개발 (2021-2022)	· 현미경을 통한 실시간 동영상에서 독성조직 판독 인공지능 엔진개발 및 판독 안드로이드 응용프로그램 개발 · 동영상 내 라벨링 된 병변을 이용, 딥러닝 학습을 진행 및 이미지 검출 · 동영상에 반영하여 병변 위치를 표시하는 기능 구현

디지털 독성병리 적용 매뉴얼(안)의 작성 및 용어 정립

디지털 병리 적용을 위해 현재 기관 내 보유 기기 및 소프트웨어를 기준으로 [그림1]과 같이 디지털독성병리 적용 매뉴얼(안)을 작성하였다. 매뉴얼(안) 작성을 위해 보유 기기를 이용한 WSI 파일의 생성 옵션을 비교 및 확정하였고, 파일의 가시성, 품질, 다른 이미징 프로그램과의 호환성을 확인하여 WSI 파일의 생산을 위한 절차 및 세부 운용, 파일의 취급, 운용시 고려점 등에 관한 사항을 기술하였다.



[그림1] 디지털 독성병리 적용 매뉴얼(안)

또한 비임상 시험의 독성병리 분야의 최신 국제 표준 용어 및 국내 발간 용어집을 활용하여 기관 내 SOP의 진단용어집을 개정하였다. 국문 및 한글 용어를 반영하였으며, 〈표2〉와 같이 비슷한 해부학적 위치 및 생리학적 기능을 수행하는 장기를 묶어 동일 생체시스템으로 취급하여 공통 소견 및 증식성 소견을 별도로 표기했다.

[표2] 진단용어집 주요 사항

계	장기	주요 공통 진단 용어
체강	· 별도 분류 없음	· 지방세포축적, 미분류암종 등 24종
심혈관계	· 공통 · 심장, 대동맥/혈관	· 아밀로이드, 혈관종 등 10종
소화기계	· 공통(구강, 인두, 혀, 식도, 위) · 공통(십이지장, 공장, 회장, 맹장, 결장, 직장) · 공통(침샘, 이자, 쓸개, 간)	· 공통1 : 편평상피를 갖는 장기를 기준으로 구강, 인두 등 포함, 아밀로이드, 편평세포암종 등 20종 · 공통2 : 소화 및 흡수기능을 갖는 장기를 기준으로 소장, 대장 포함, 아밀로이드, 샘암종 등 33종 · 공통3 : 샘 형태의 장기를 기준으로 침샘, 이자 등 포함, 아밀로이드 등 15종
내분비계	· 공통(부신, 솔방울샘, 뇌하수체, 부갑상샘, 갑상샘)	· 아밀로이드 등 19종 · 내분기계는 각 장기의 특징이 명확하여 공통적으로 진단되는 종양 소견은 없음
조혈림프계	· 공통(골수, 림프절, 비장, 가슴샘)	· 아밀로이드, 혈관종 등 22종 · 조혈림프계는 공통적으로 진단되는 종양 소견은 없음
표피	· 공통(젖샘, 피부/피하, 짐발샘[1])	· 울혈 등 8종
신경계	· 뇌, 척수, 말초신경	· 공통적으로 진단되는 비종양/종양 소견은 없음
생식기계	· 공통(응고샘, 정낭샘, 전립샘) · 공통(고환, 부고환) · 공통(난소, 자궁) · 공통(음경, 음핵샘/포피샘)	· 공통1 : 수컷 부생식기를 포함, 아밀로이드, 샘암종 등 22종 · 공통2 : 정자생산과 관련된 주요 장기를 포함, 아밀로이드, 라이디히세포샘종 등 13종 · 공통3 : 암컷 생식기 주요 장기를 포함, 아밀로이드, 섬유종 등 15종

1) 짐발샘 : Zymbal gland, 실험하는 랫드(rat)나 마우스(mouse)의 귀 옆에 있는 작은 샘기관

[표2] 진단용어집 주요 사항

계	장기	주요 공통 진단 용어
심혈관계	· 공통(후두, 기관, 폐) · 공통(비강, 후각계)	· 공통4 : 표피 및 분비기능을 갖는 장기를 포함, 위축, 샘암종 등 11종
소화기계	· 뼈, 관절, 치아	· 공통1 : 호흡상피를 위주의 장기를 포함, 울혈, 샘암종 등 15종 · 공통2 : 비강 및 비강상피를 포함, 세포자멸사, 샘종 등 24종
내분비계	· 공통(연부조직, 골격근)	· 공통적으로 진단되는 비종양/종양 소견은 없음
조혈림프계	· 공통(귀, 눈) · 공통(하더샘, 눈물샘)	· 공통1 : 울혈, 편평세포암종 등 14종 · 공통2 : 세포자멸사, 샘암종 등 15종
표피	· 공통(콩팥, 요관/요도, 방광)	· 결석, 편평세포/요로상피암종 등 16종

또한 비임상 시험의 독성병리 분야의 최신 국제 표준 용어 및 국내 발간 용어집을 활용하여 기관 내 SOP의 진단용어집을 개정하였다. 국문 및 한글 용어를 반영하였으며, 〈표2〉와 같이 비슷한 해부학적 위치 및 생리학적 기능을 수행하는 장기를 묶어 동일 생체시스템으로 취급하여 공통 소견 및 증식성 소견을 별도로 표기했다.

결론 및 기대효과

이번 연구는 흡입독성시험 데이터의 주요 장기별 병변 등의 디지털화(Digitalization) 및 보존을 위한 기반 마련을 목적으로 수행되었다. 국내·외 디지털 병리 가이드라인, 최신 연구 및 관련 사업 현황 등을 조사하였고 디지털 병리와 접목하여 활용 가능한 클라우드 이용 및 AI 학습 관련 연구 및 기술개발 사항을 함께 탐색하였다. 또한 내부 진단용어집 및 디지털 독성병리 적용 매뉴얼(안)을 작성·이용하여 일부 흡입독성시험 자료를 디지털화 하였다. 이를 기반으로 추후 AI를 이용한 병리데이터의 분석 등 독성병리 분야의 융합 연구를 위해 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

···▸조은상 등. 화학물질 유해성 평가를 위한 디지털 독성병리 적용시스템 기반 구축 연구. 2022. OSHRI
···▸디지털 병리 가이드라인 권고안. 2020. 대한병리학회 의료정보연구회
···▸Nomenclature: INHAND publications. 1991–2023. Global Open RENI (www.goreni.org)
···▸강부현 등. 독성병리용어집. 2021. 한국독성병리학회

OSH RIVIEW

03

Brief

Brief는 산업안전보건연구원의 주요 연구를
간략히 정리하여 소개합니다.

MSDS 정보를 활용한 화학물질 관리 정책 도출

연구책임자
산업안전보건연구원 산업화학연구실
이나루 실장

원고작성자
산업안전보건연구원 산업화학연구실
신아롬 대리

물질안전보건자료(이하 'MSDS')는 화학물질의 유해성 정보를 전달하는 도구로, 국내 및 국제적으로 화학물질의 유해성 분류 기준과 경고표지 표준화가 꾸준히 이뤄져 왔다. 그러나 최근까지도 MSDS의 신뢰도와 활용성은 사회적으로 논란이 되어 왔으며, 2021년부터는 산업안전보건법령을 근거로 MSDS 제출 및 비공개 정보 심사 제도가 시행됨에 따라 관련 제도가 큰 변화를 맞이하였다.
따라서 국내 MSDS 작성의 품질을 높일 수 있는 방법을 모색하고, 정부에서 확보한 MSDS 데이터베이스를 이용하여 어떻게 분석·활용할지에 대한 고민이 필요하다. 또한 사업장 화학물질 관리에서 안전한 취급을 위한 정보전달로서 MSDS를 활용하고 있는 유럽연합의 사례를 고찰하여 국내 화학물질 정책 방향을 도출하고자 한다.

I. 서론

MSDS[1)]와 관련하여 국내의 큰 변화로는 2021년부터 시행된 산업안전보건법의 MSDS 제출 제도와 비공개 정보 심사 제도의 도입이 있다. 비공개 심사 제도는 기존에 MSDS작성자가 자의적으로 '영업비밀'을 판단하여 기재해왔던 것을 관리하기 위하여 정부가 구성성분과 함유량에 대해 영업비밀 적용 요건의 만족 여부, 대체자료로 적으려는 화학물질의 대체 명칭, 대체함유량의 적합성 등을 심사하는 제도이다. 유해성이 있는 화학물질의 구성성분과 함유량은 MSDS에서 공개하는 것이 원칙이나, 화학물질을 개발한 기업의 영업비밀을 인정해 기술 개발을 촉구하고자 만든 제도이다.

또한 MSDS를 정부에 제출토록 한 것은 MSDS의 품질 향상과 유통되는 제품에 대한 정보를 정부가 확보하기 위한 것이다. 새로운 MSDS 제도 시행으로 정부는 유통되는 MSDS에 대한 정보를 갖게 되었다. 이러한 정보를 어떻게 분석할 것인지에 대한 전략이 필요할 것이다.

한편 유럽에서는 화학물질 등록 승인 제도를 도입한 이후부터 화학물질의 유해성과 안전 취급 정보를 전달하는 수단으로 MSDS의 역할이 점차 확대되고 있다. 등록을 통해 물질별로 조화된[2)] 유해성·위험성 자료가 MSDS에 반영되고, 이렇게 기재된 정보들이 공급망을 따라 제품과 함께 유통되고 있다.

본 연구를 통해 첫째, 화학물질 정보 생산 환경이 변화한 현재 MSDS 작성의 품질을 높일 수 있는 방안을 찾아보고자 한다. 둘째, 국내 유통 MSDS를 정부가 제공받는 시점에서 사회적

1) MSDS : Material Safety Data Sheet, 물질안전보건자료
2) 같은 물질이라도 유해성 위험성 분류가 다를 수 있는데, 제조자-유통자-사용자가 서로 협의해서 똑같이 분류한 것을 '조화된 분류'라고 표현함

문제를 해결할 때 데이터베이스를 활용할 방법을 사례를 통해 확인하고자 한다. 셋째, MSDS의 품질, 활용도를 높이기 위해서는 우선적으로 정보 생산이 필요하기 때문에, 유럽에서 안전한 사용에 대한 정보를 어떻게 생산 및 유통하는 지 고찰해서, 국내 화학물질 관리 정책 방향을 도출하고자 한다.

II. 연구내용

1) MSDS 품질 개선을 위한 관련 제도 개선(안) 도출

해외의 MSDS 관련 작성기준을 파악하기 위하여 유럽화학물질청(ECHA)에서 작성한 '물질안전보건자료 편찬을 위한 안내서(원제 : Guidance on the compilation of safety data sheets)'에 제시된 MSDS 작성 원칙을 국내 법·고시 등에서 제시된 MSDS 작성 원칙과 비교하였다. 또한 ECHA Guidance에서 제시하는 작성기준 적용 시 국내 MSDS가 잘 작성되고 있는지 확인하기 위해 분석 가능한 항목 35개를 선별하여 국내에서 유통되는 MSDS 50종을 분석하였다. 분석 시 적정 작성 비율이 50% 미만인 항목을 미흡한 항목으로 판단하였으며, 미흡한 항목은 전체 35개 중 19개(전체의 54.2%)로 확인되었다.

추가로 내·외부 전문가 의견수렴을 통해 국내 도입이 필요한 MSDS 제도 개선 및 작성 기준을 도출하였는데 그 중 우선 개선대상 내용은 다음과 같다. 자세한 사항은 연구보고서를 통해 확인할 수 있다.

2) 세척제 관련 국내 유통 MSDS의 정보 분석 및 활용

국내에서 트리클로로메탄이 함유된 세척제를 취급하는 사업장 근로자에게 집단 급성중독이 발생한 사고와 관련하여, 세척제에 대한 분석을 수행하였다. 산업안전보건법 제110조(물질안전보건자료의 작성 및 제출)에 의거하여 구축된 MSDS를 데이터베이스 중 세척제로 추정되는 3개용도[UE13(금속 표면 처리제), UE14(비금속 표면 처리제), UE32(세정 및 세척제)]로 제출된 MSDS를 1,069건을 검토하였으며, 사업장 정보, MSDS 내 구성성분 및 급성흡입독성, 발암성 유해성을 확인하였다.

분석 결과, 제출 기간(2021.1.16.~2022.4.30.)동안 166개 사업장에서 총1,069건의 MSDS를 제출한 것으로 나타났다. 사업장당 평균 6개의 세척제 관련 제품 MSDS를 제출한 것으로, 사업장 정보는 향후 어떤 구성성분의 세척제가 시장에 나타날지 모니터링 할 때 활용할 수 있을 것이다. 1,069건의 제품에 포함된 구성성분은 중복을 포함하는 경우 3,463종, 중복을 제외한 경우 588종이었다. 이를 통해 수백 종 화학물질이 세척제로 사용됨을 확인할 수 있었다. 1,069건 세척제 관련 제품 MSDS의 유해성·위험성 분류를 확인한 결과, 급성흡입독성 유해성은 622건(58%), 발암성은 692건(65%)으로 나타났다.

이번 사고는 세척제 중 특히, 할로겐 용매로 인한 급성 중독이었기 때문에, 할로겐 용매 10종과 다이메틸카보네이트를 함유하는 MSDS를 대상으로 제품의 용도를 추가로 분석하였다. 분석 결과 이들 물질을 함유한 제품은 총 1,031건이었다. 세정 및 세척제로 빈도가 높았던 물질은 1,2-디클로로에틸렌, 다이메틸카르보네이트, 디브로모메탄, 디클로로메탄 순이었고, 금속표면처리제로 빈도가 높았던 물질은 디클로로메탄, 디브로모메탄, 다이메틸카르보네이트, 1,2-디클로로프로판 순이었다. 할로겐 용매는 비금속 표면처리제로는 사용되지 않았다.

[표1] MSDS 제도 우선 개선대상

작성 원칙	세부 내용
MSDS 작성 대상 명확화	법적 규제물질을 포함하는 경우, MSDS를 반드시 작성하도록 규정 다만, 대상범위가 명확하지 않은 규제물질 (예 : 금속화합물 등)에 대한 기준필요
변경 MSDS 제공 대상 범위 규정	최근 12개월 내 화학물질을 제공받은 자에 한해 변경된 MSDS 제공
MSDS 책임 주체 확대	MSDS 최초 작성자 이외에도, 제품 유통과정에 참여하는 모든 주체에게 MSDS 내용에 대한 책임을 일부 부과
권고 용도에 대한 기재를 필수사항으로 명시	권고 용도를 필수 기재사항으로 명시 ("자료없음" 또는 "해당없음" 기재불가) 추가로, 범부처간 협력체계를 구축하여 표준화된 용도분류체계 마련 필요
유해성이 있는 혼합물인 경우 기재해야 하는 구성성분 기준	분류기준에 해당하지 않더라도 법적 규제물질 (예 : 노출기준 설정 물질)인 경우 구성성분 기재
유해성·위험성 기재 시 기재 함유량	범위로 기재된 구성성분의 경우, 혼합물의 유해성·위험성 분류 시 최대 함유량을 기준으로 적용
구성성분 정보를 기재한 경우 해당사항 명시	제품(혼합물) 전체로서 시험된 자료가 아닌 구성성분에 대한 정보인 경우 명시하도록 권고
분류되지 않은 이유 제공	분류되지 않거나 이용가능한 정보가 없는 경우, 그 이유를 서술하도록 권고 (예 : 자료의 부족, 기술적 한계, 결정적 데이터 없음, 결정적 데이터는 있으나 불충분함)
혼합물의 구성성분에 대한 정보를 추가로 제공	혼합물의 구성성분(급성독성 추정값, ATE)에 대한 정보가 있는 경우 혼합물에 적용되는 정보에 추가로 구성성분의 정보도 함께 제공하도록 권고
MSDS 기재 정보의 일관성 확인	MSDS 항목간 일관성 있게 작성되었는지 확인하도록 규정
MSDS 수신확인 의무	사업자간 효과적인 정보전달을 위하여 MSDS양도·제공자뿐만 아니라 MSDS를 수신하는 자에게도 요청해야하는 의무 신설
위탁생산방식의 제조 관련 위탁자에게 관련의무 허용	OEM 제조 등 위탁생산방식의 경우, 수탁자뿐만 아니라 위탁자도 MSDS 관련법 이행할 수 있도록 규정
유통량 기반의 화학물질 유해성 정보 생산 필요	화학물질의 유통량을 기반으로 유해성 정보를 생산하도록 규정

[표2] 세척제로 주로 사용되는 성분(할로겐화 용제 10종 및 DMC)

연번	화학물질명	CAS No.
1	1,2-디클로로프로판	78-87-5
2	1,2-디클로로에틸렌(트랜스)	156-60-5
3	1-브로모프로판	106-94-5
4	디클로로메탄	75-09-2
5	트리클로로에틸렌	79-01-6
6	트리클로로메탄	67-66-3
7	1,1,2-트리클로로에탄	79-00-5
8	다이메틸 카르보네이트	616-38-6
9	브롬화메틸렌(=디브로모메탄)	74-95-3
10	1,1,1-트리클로로에탄(=메틸클로로포름)	71-55-6
11	테트라클로로에틸렌(=퍼클로로에틸렌)	127-18-4

3) MSDS를 통한 안전한 취급 방법 전달

유럽연합의 REACH(Registration, Evaluation, Authorization and restriction of chemicals) 법률은 화학물질의 전주기에 대한 위험성 평가를 통해 안전한 취급을 달성하는, 유해성 정보 생산 이상의 목표를 가지고 있다. 이 목표를 달성하기 위해 화학물질 제조·수입자는 화학물질 전 주기에 걸쳐 안전성 평가를 하고 그 결과를 요약하여 「화학물질 안전성 보고서」를 정부 당국에 제출해야 한다. 화학물질 제조·수입자의 의무는 정부 당국에 보고서를 제출하는 것으로 끝나지 않고, 하위사용자에게 노출시나리오를 SDS 부속서 형태로 전달하여야 한다. 하위사용자는 SDS 및 부속서에 기재된 용도 및 취급 방법으로 화학물질을 사용하여야 한다. SDS가 유해성 뿐 아니라 용도와 안전한 취급 방법을 전달하는 정보 전달 도구로 역할이 확대된 것이다.

이러한 방식의 위험성 평가가 가능한 것은 위험성 평가 매 단계에 광범위한 지침을 제공하기 때문이다. 특히, 하위사용자의 의무를 규정함으로써 작업장 사용 조건 및 위험관리조치(Risk Management Measure, RMM)에 대한 정보를 수집하고, 이를 기반으로 화학물질 위험성 평가가 가능한 체계를 만들었다. 또 생산된 정보를 eSDS(extended Safety Data Sheets, 확장형 MSDS, 노출시나리오를 SDS 부속서 형태로 전달한 것)를 통해 전달함으로써, 제3자가 하위사용자의 사업장에서 화학물질 위험성평가 결과를 확인하는 것이 가능했다.

유럽의 REACH 법률이 안전보건 분야에 미친 영향은 긍정적이다. 유해성 분류, DNEL(Derived No-Effect Level, 무영향도출수준)과 같은 기준값의 생산, 위험관리조치(RMM) 제시 등 화학물질을 작업장에서 사용할 때 의사결정을 할 수 있는 많은 정보를 생산·유통했다는 점이 긍정적으로 평가된다. 이 과정에서 eSDS는 정보를 전달하는 역할을 한 것이다.

III. 결론 및 정책제언

MSDS는 화학물질의 유해성 정보를 전달하는 도구이기 때문에 신뢰성을 높이기 위해서는 구체적이고 자세한 MSDS 작성 지침을 마련하는 것이 필요하다. 또한 세척제 관련 분석을 수행한 결과, 세척제 제품의 절반 이상이 급성흡입독성과 발암성 유해성이 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 이는 세척제를 사용하는 사업장에서 엄격한 노출관리가 필요하다는 것을 의미하므로, 향후 화학물질 규제정책을 수립하거나 기술지원 사업에서 세척제를 중요한 대상으로 다루어야 할 것이다.

추가로 규제대상이 아닌 디브로모메탄(CAS No. 74-95-3)이 세정 및 세척제, 금속표면처리제로 유통되고 있는 우려스러운 상황이 확인된다. 최영은 등(2022)에 따르면 디브로모메탄은 미국 EPA에서는 오존층 파괴지수가 높아 세척제 사용을 금지하고 있고, 일본에서 생식독성으로 알려져 있으며 유럽연합에서 유통량이 10-100톤 사이로 매우 적게 사용하는 물질이다. 여러 문헌에서는 디브로모메탄의 구조를 볼 때, 유해성이 있을 것으로 우려하고 있다. 독성자료는 제한적이나, 고농도 흡입 노출에서 의식불명, 사망까지 이를 수 있으며, 반복 노출 시 신장, 간, 중추신경계에 영향을 미치는 것으로 확인된 물질이다. 이런 디브로모메탄이 산업안전보건법에 관리대상에 포함되어 있지 않고, 유독물질로도 지정되지 않아 안전한 세척제 물질을 찾는 것이 아니라, 규제 회피 목적으로 세척제를 찾는 사업장에 사용될 가능성이 높다.

현재 화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률에는 하위사용자가 SDS에 기재된 용도에 따라 사용해야 한다는 의무가 없고, 노출 시나리오가 MSDS와 별도로 유통되고 있다. 따라서, 유럽연합과 같은 방식으로 MSDS 혹은 화학안전정보를 통해 화학물질의 안전한 취급 정보를 인지하는 상황에 도달하는 것은 시간이 필요할 것으로 보이나, 작업장 화학물질 위험성 평가에 유럽연합의 여러 방법론을 이용하는 것은 가능할 것이다. 궁극적으로는 유럽연합의 REACH 법률과 같은 제정 목적을 가지는 국내의 화평법도 '안전한 화학물질 취급'이라는 목표 달성을 위해, 산업계, 특히 하위사용자가 노출 시나리오 작성에 기여할 수 있도록 협력체계를 구성하고, 이들이 제공하는 정보가 화학물질 등록에 사용되고, 하위사용자들이 MSDS를 통해 노출 시나리오에 대한 정보를 제공받아 기재된 용도대로 화학물질을 안전하게 취급할 수 있는 체계가 만들어져야 한다.

참고문헌

- European Chemicals Agency(ECHA). Guidance on the compilation of safety data sheets. Version 40. December 2020
- Reihlen A, Wirth O, Jepsen D, Guhe C, Kunnemann, Walendzik. Interaction of the EU chemical regulation-REACH-with occupational safety and health legislation: A report from the 5th German REACH congress. Annals of Work Exposure and Health. 2002. 66(6):687-697
- Health and Safety Executive. COSHH: A brief guide to the regulation from http:www.hse.go.uk European Chemicals Agency(ECHA). Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.12: Use description ver3.0. 2015
- Concawe. Developing worker and consumer exposure scenarios for identified uses of petroleum substances under REACH-2020 edition
- Dobe C. Bonifay S, Fliege R, Krasss J, Mostert V, Vosswinkel R, Wormuth M. Development of REACH generic exposure scenarios for substances used as coformulants in plant protection products. Risk Analysis. 37. 2017
- Money C, Margary A. Noij D, Hommes K. Generic exposure scenarios: Their development, application, and interpretation under REACH. Ann. Occup. Hyg. 55(5):451-464. 2011
- BAuA. REACh2SDS-Workshop report. 2021
- BAuA. Using REACH-information for health and safety at work. Announcement 409.2012
- 최은경, 김종운, 김상헌, 변성원. 유럽 신화학물질관리제도의 eSDS에 첨부되는 노출시나리오 작성법 개발 동향. Clean Technology. 17(4):285-299.2011
- 최영은, 김신범, 김원, 조준희, 이근탁, 최혜영, 현재순. 금속제품 세척제 관련 화학물질 규제변화의 영향조사 및 개선방안 마련-할로겐화 유기용제 세척제 중심으로. 산업안전보건연구원. 2022
- 이나루, 정수진, 신아롬, 이혜진. 물질안전보건자료 정보를 활용한 화학물질 관리 정책 도출. 산업안전보건연구원. 2022.
- 이혜진, 이인섭, 최보경. 물질안전보건자료 대상물질의 유해성·위험성 분류기준 적용 연구. 산업안전보건연구원. 2019

도료 내 금속성분 분석을 통한 MSDS 개선방안 제안

화학제품 중 도료는 수지, 용제, 안료, 첨가제 등으로 구성된 대표적인 혼합물로서 안료와 첨가제에 유해한 금속성분이 함유되어 있을 수 있다. 현재 도료의 사용 및 규제에 있어 이슈는 이산화티타늄의 발암성, 나노크기의 입자 함유에 따른 유해성, 대체 도료로 합성되는 UVCB 물질인 복합무기안료의 잠재위험성이 있다. 또한, 도료의 화학적 조성은 복잡하기 때문에 시료 분석에 사용되는 포괄적인 방법 및 기술 목록에서 가장 적절한 분석방법을 선택해야 한다. 따라서 본 연구에서는 다양한 도료의 금속성분을 분석하여 산안법 상 유해물질 함유 여부를 확인함으로써 MSDS의 구성성분 및 함유량의 표기 실태를 파악하고 개선방안을 제시하여 유해물질 관리 강화에 기여하고자 한다.

연구책임자
산업안전보건연구원 산업화학연구실
한정희 연구위원

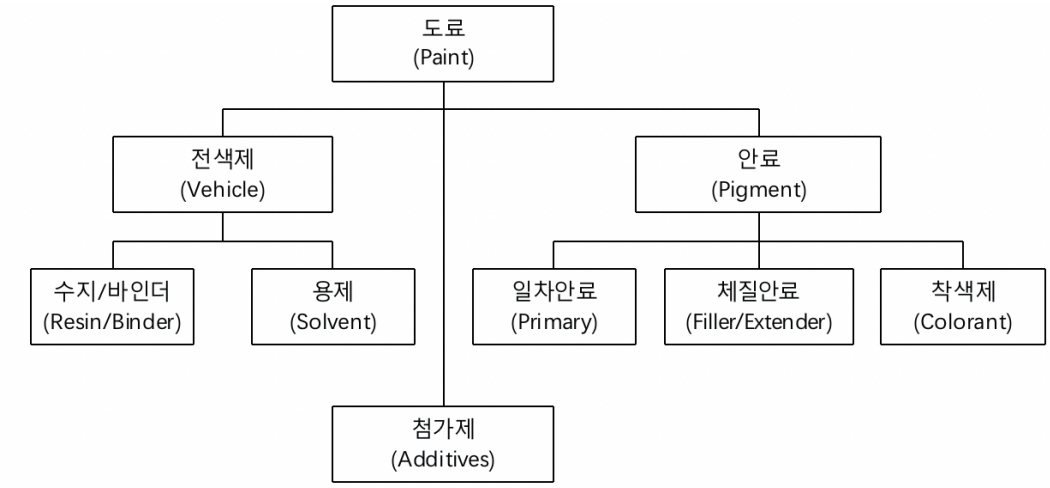
I. 서론

화학물질 (substance)은 자연상태 또는 제조공정의 결과물인 화학원소 및 그 화합물로서 화학물질 규정을 이행하는 데 있어 유해성·위험성 분류를 위한 물질의 식별은 필수적이며 물질의 유형을 확인하는 것이 필요하다. 또한, 산업안전보건법 (이하 산안법)에 따라 물질이 근로자에게 건강장해를 일으키는 화학물질 (이하 유해물질)이거나 유해물질을 일정 중량비율 이상 함유한다면 물질안전보건자료 (Material Safety Data Sheet, MSDS)상에 반드시 구성성분으로 기재하여야 한다. 화학물질은 구성성분의 조성을 기준으로 단일물질 (mono-constituent substance)과 다성분물질 (multi-constituent substances), 그리고 UVCB 물질(Unknown or Variable composition, Complex reaction products or Biological materials)로 구분되며 혼합물은 이러한 구성성분이 두 가지 이상인 물질 또는 용액을 의미한다.

화학제품 중 도료는 수지, 용제, 안료, 첨가제 등으로 구성된 대표적인 혼합물로서 일반적으로 수지 20-60%, 용제 30-80%, 안료 2-40%, 첨가제 0-5%의 비율로 구성된다. 수지와 용제는 주로 유기성분이며 무기성분은 주로 안료나 첨가제에 포함되어 있다. 안료에는 유기안료, 무기안료, 체질안료, 금속분 등이 있다 (그림 1). 유기안료는 염료를 물에 녹지 않는 금속화합물의 형태로 바꾼 것이며, 무기안료는 천연광물을 가공, 분쇄하거나 금속화합물을 원료로 제조한 것이다. 현재 국내에서 사용하는 안료는 700여 종이며 유기안료는 500여 종, 무기안료는 200여 종으로 대부분 소량 다품종으로 생산되고 있다.

그러나 도료의 MSDS를 조사한 결과 영업비밀사항으로 보호하고 있거나 정확한

성분이나 함유량 정보를 제공하고 있지 않은 경우도 많았다. 특히 안료성분은 색상지수 또는 조성번호로 표기하는 등 기재방법이 통일되어 있지 않아 사용자들이 정확한 성분 및 유해성을 인식하지 못할 수 있다. 예를 들어 코발트블루라는 제품명으로 많이 사용되는 cobalt aluminate blue spinel (CAS 번호[1] : 1345-16-0)은 색상지수 (color index)[2]인 C.I Pigment Blue 28나 CI 77346로 표기하는 경우도 많았다.



[그림1] 도료의 구성

도료의 성분 중 가장 문제가 되는 금속은 납이다. 납은 유해성 때문에 안료로서 더 이상 거의 사용되지 않고 있으며 납보다 불투명도가 우수하고 독성이 낮다고 알려진 이산화티타늄으로 많이 대체되고 있다. 하지만, 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 이산화티타늄 분말의 경우 흡입 시 발암 가능성이 있는 Group 2B로 분류하고 있으며, 유럽연합은 직경이 10 ㎛ 이하인 이산화티타늄 입자가 1% 이상 함유된 분말 형태의 혼합물을 흡입 시 발암의심물질로 발암성 (Car. 2)으로 분류하고 표기하도록 결정했다.

또한, 플라스틱 착색에 많이 사용되고 있던 유해 중금속계 안료는 안전 및 환경면에서 그 용도가 현저하게 제한되어 현재는 대체 안료로서 UVCB 물질인 복합무기안료(Complex Inorganic Coloured Pigments)를 사용하고 있는데 유럽화학물질청(European Chemical Agency, ECHA)에서는 화학물질규제제도인 REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of CHemicals)에 따른 복합무기안료의 식별 및 명명을 위하여 주요 구성성분 및 결정구조에 따라 10% 이상의 농도로 존재하거나 색상에 영향을 주는 주요 원소의 경우 물질명에 포함하여 기재하도록 하고 있으나 국내는 아직까지 구체적인 가이드라인이 없다.

1) CAS 번호 : Chemical Abstract Service의 약자로 화학구조나 조성이 확정된 화학물질에 부여된 고유번호
2) 색상지수 (Color Index) : 미국과 영국의 염색자협회에서 공동 출판한 염료와 안료의 목록으로 색상 및 일련번호로 표기하는 CIGN (Color Index Generic Name)과 화학구조를 기반한 CICN (Color Index Constitution Number) 분류체계가 있음.

MSDS에 기재해야 하는 구성 성분은 물질명, CAS 번호 및 함량으로 표기하며, 1% 이상 성분은 모두 작성해야 한다. 특히 혼합물의 경우 발암성물질 및 생식세포변이원성물질은 0.1% 이상, 호흡기과민성물질 (가스인 경우에 한함)은 0.2% 이상, 생식독성물질은 0.3% 이상인 경우에 해당하는데 이를 한계농도로 규정하고 반드시 기재하도록 하고 있다. 이런 특성 때문에 제조/수입사마다 물질의 MSDS를 작성하는 방식은 다양하며, 법적 유해물질을 함유하고 있더라도 MSDS에 기재하지 않을 수 있다. 실제로 산업안전보건연구원에서 수행한 MSDS 적정성 평가 결과 MSDS 구성성분의 일치율은 2018년 56.57%, 2019년 58.33%로 미흡하였는데, MSDS에 기재되지 않은 구성성분 또는 영업비밀 적용 제외물질이 검출되거나 유해물질의 함유량이 한계농도 이상 검출되어 부적정 판정을 받은 경우가 많았다. 따라서 본 연구에서는 다양한 도료의 금속성분을 분석하여 산안법 상 유해물질 함유 여부를 확인함으로써, MSDS의 구성성분 및 함유량의 표기 실태를 파악하고 개선방안을 제시하여 유해물질 관리 강화에 기여하고자 하였다.

II. 연구내용

1. 대상 유해물질 및 시료 선정

산안법 상 유해물질 중 금속원소 성분을 선택하였다. 각 물질의 분자식, 구성원소, 물질유형 등 물리적 특성을 조사하여 구리, 납, 니켈, 망간, 아연, 알루미늄, 티타늄, 크롬, 코발트 등 26종을 대상 유해물질로 선정하였다.

또한, 현재 유통되고 있는 다양한 종류의 도료 중 해당 제품의 MSDS를 검토하여 대상 유해물질을 함유할 것으로 예측되는 시료 19종을 임의로 선정하였다.

2. 도료의 분석방법 및 유효성 확인

도료의 금속성분은 유도결합플라즈마분광분석법 (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry, ICP-OES)와 단일입자유도플라즈마질량분석법 (Single Particle Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry, SP-ICP-MS)[1]를 이용하여 분석하였다. 표준물질은 Inorganic Ventures사에서 구입한 IV-26 표준용액을 사용하였으며, 분석의 유효성을 확인한 결과 직선성, 정밀도 및 정확도, 검출한계 및 정량한계[2]는 모두 양호하게 나타났다(표 1).

3. 도료의 무기성분 분석 및 유해물질 함유 여부 확인

ICP-OES를 이용한 성분분석 결과 은 (Ag), 비소 (As), 붕소 (B), 베릴륨 (Be), 칼륨 (K), 몰리브덴 (Mo), 셀레늄 (Se), 탈륨 (Tl)은 모든 시료에서 검출되지 않았거나 검출한계 미만이었으며 가장 많이 함유한 성분은 알루미늄 (Al), 철 (Fe), 칼슘 (Ca), 나트륨 (Na) 등이었다. 유해물질을 한계농도 이상 함유하고 있는 시료는 9종이었으며 특히 납을 함유하고 있는 시료가 1종이었다. 그리고, MSDS에 기재된 성분과 정성분석결과를 비교한 결과 10종은 일치하나, 9종은 MSDS에 기재되지 않은 성분이 검출되었다. (표 2).

1) ICP-OES는 유도결합플라즈마에 의하여 이온화된 시료에서 방출되는 에너지를 파장에 따라 분리하여 검출하는 방법이며, SC-ICP-MS는 이온화된 시료를 질량 대전하의 비율에 따라 분리하여 성분별 입자농도 및 크기를 측정하는 방법임.

2) 검출한계는 시료 중 분석물질의 함유여부를 확인할 수 있는 최소 검출농도이며, 정량한계는 정량측정가능한 최소 검출농도임.

[표1] 검정곡선의 유효성

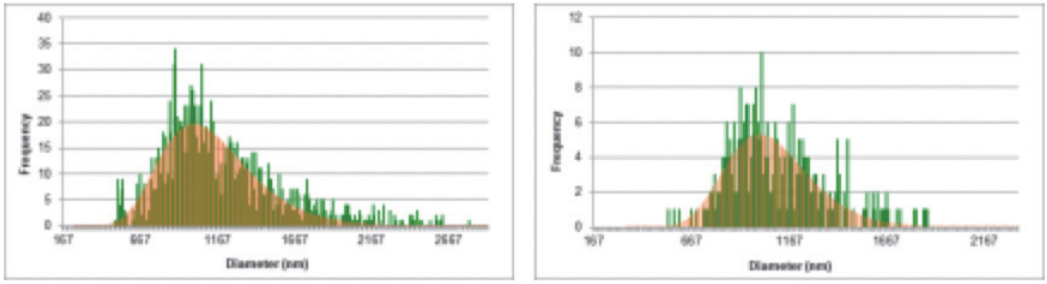
매개변수	결과	평가	비고
결정계수	0.9998~0.9999	양호	직선성 양호
검출한계 (㎍/㎖)	0.1395~2.4018	양호	한계농도 미만
정량한계 (㎍/㎖)	1.3945~24.0175	양호	한계농도 미만

[표2] ICP-OES를 이용한 도료의 금속성분 및 함유량 분석결과

시료 번호	시료정보(용도)	색상	유형	나노폼 함유	UVCB 함유	금속성분 및 함유량 (Weight %)
1	무기아연 방청프라이머	회색	유성	○	-	Al(0.27), Ca(0.27), Fe(2.0), Mn(0.09), Si(0.03), Ti(0.09), Zn(7.2)
2	소부형 PVDF 수지도료	황색	유성	-	○	Al(0.06), Fe(0.13), Ti(0.04), Zn(0.1)
3	엣지용 UV	백색	유성	-	-	Ca(0.08), Mg(0.89), Zn(0.49)
4	변성실리콘계 내열도료	회색	유성	○	-	Al(4.58), Ca(0.3), Fe(10.55), K(0.78), Mg(0.99), Mn(3.48), Na(0.46), Si(0.05), Zn(7.12)
5	아크릴우레탄계 자동차내장도료	흑색	유성	-	-	Cu(0.01), Fe(0.01), Na(0.02), Si(0.02)
6	일반공업 불소도료 소부용	회색	유성	○	○	Al(0.13), Cr(0.18), Cu(0.19), Fe(0.05), Mn(0.16)
7	자동차내장재용	흑색	유성	○	○	Al(0.32), Cu(0.07), Fe(0.35), Si(0.04)
8	소부형 PVDF 수지도료	녹색	유성	○	○	Al(0.14), Ba(0.14), Ca(0.08), Cr(0.07), Cu(0.11), Mn(0.07), Ni(0.63), Ti(0.35), Zn(0.35)
9	소부형 PVDF 수지도료	회색	유성	-	-	Al(0.08), Ba(0.33), Fe(0.32), Zn(0.21)
10	공업용 알키드 상도	황색	유성	-	-	Al(0.11), Ba(0.91), Ca(0.97), Fe(0.3), Mg(2.76)
11	일반공업 위장용도료	녹색	유성	○	○	Al(0.12), Co(0.04), Cr(0.09), Fe(0.83), Mg(0.25), Na(0.05), Zn(0.06)
12	일반공업 우레탄도료	황색	유성	○	○	Al(0.11), Ba(0.23), Ca(0.05), Fe(0.08)
13	철제용 도료	은색	유성	-	-	Al(10.86), Co(0.03), Fe(0.08)
14	목재 및 철재 상도마감용	황색	유성	-	-	Al(0.07), Ba(0.19), Ca(3.22), Mg(0.06)
15	니트로셀룰로스계 락카 도료	황색	유성	-	-	Al(0.06), Ba(1.18), Cr(0.83), Pb(3.27), Sb(0.03)
16	자연건조형 에나멜 도료	감색	유성	○	-	Ca(0.07), Co(0.03), Cu(0.5)
17	자연건조형 에나멜 도료	녹색	유성	-	-	Al(0.05), Ba(1.39), Ca(0.37), Cu(0.18), Fe(0.28), Si(0.04)
18	건축물 외부상도용	갈색	수성	○	-	Al(0.01), Ca(4.21), Fe(1.59), Mg(0.1), Na(0.21), Si(0.01)
19	건축물외부상도용	황색	수성	○	-	Al(0.16), Ca(5.92), Fe(0.02), Mg(0.19), Na(0.04)

Al, Aluminum; Ba, Barium; Ca, Calcium; Co, Cobalt; Cr, Chrome; Cu, Copper; Fe, Iron; K, Potassium; Mg, Magnesium; Mn, Manganese; Na, Sodium; Ni, Nickel; Pb, Lead; Si, Silicon; Ti, Titanium; V, Vanadium Zn, Zinc

또한, 단일입자유도플라즈마질량분석법를 이용하여 수성도료 2종의 입자 크기분포를 측정한 결과 칼슘(Ca)성분이었으며 크기는 평균 1,190 nm및 1,115 nm로 마이크로미터 크기 분포를 나타내었다(그림 2).



[그림2] SP-ICP-MS를 이용한 수성도료 입자크기분포

III. 결론 및 정책제언

MSDS 작성 시 구성성분의 명칭 및 함유량은 화학제품을 구성하는 성분정보를 성실히 기재하여야 한다. 도료에는 무기안료, 첨가제 등 다양한 금속성분이 함유되어 있을 수 있으므로 개별물질뿐만 아니라 혼합물로서의 유해성을 고려해야 하며 구성성분에 따른 다양한 분석방법을 선택하여 종합적으로 평가하는 것이 필요하다. 또한 색상지수 등으로 표기한 제품은 정확한 물질명으로 대체하여 기재하거나 법적규제현황에 대상 유해물질을 기재하도록 권고하고 이산화티타늄, 나노폼, 복합무기안료 등의 이슈에 적극적인 대처와 올바른 MSDS 작성을 위한 구체적인 가이드라인 제정이 필요하다고 판단된다. 결론적으로 도료 중 무기안료는 도료에 함유된 다른 금속화합물과는 다른 특성, 즉 입자의 크기, 결정구조, 복잡한 성분을 가지고 있으므로 다른 금속화합물과는 별도로 유해성을 평가해야 하며 MSDS 작성에도 이를 반영해야 한다. 본 연구결과는 도료에 함유되어 유해 금속성분이 분류에 영향을 끼칠 만큼 함유되어 있는지 판단하는 데 도움이 될 수 있으며, 제조사의 MSDS와 비교 검토 및 적정성을 확인을 통하여 MSDS 개선을 위한 지침이 될 수 있으며 도료의 올바른 MSDS 작성을 통하여 사업장 화학물질 관리에 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 고용노동부. 산업안전보건법령집. 2023
- 고용노동부. 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호). 2020
- 고용노동부. 화학물질의 분류표시 및 물질안전보건자료에 관한 기준(고용노동부고시 제2020-130호). 2020.
- 김형아, 이경주, 김용우, 김현욱. 우리 나라에서 제조/사용되는 일부 무기 안료중 ICP-AES를 이용한 주요 중금속 농도와 MSDS 비치율 및 일치율 비교. 한국산업위생학회지, 8(2):196-208; 1998
- 이종한, 이권섭, 박진우, 한규남. 사업장 MSDS 영업비밀 적용실태 및 제도 개선방안에 관한 연구. 한국산업위생학회지, 21(3):128-138; 2011
- 이종한, 홍문기, 김현지, 박상희. 도료제조업종에서 취급하는 유독물의 GHS 분류 통일화 방안 연구. 한국산업위생학회지, 23(2):156-163; 2013
- Eurometaux. Guidance on the classification of inorganic UVCB substances for human health hazards. 2020
- European Chemicals Agency (ECHA). Appendix for nanoforms applicable to the Guidance on Registration and Substance Identification. ECHA. 2022
- European Chemicals Agency (ECHA). Guide on the classification and labelling of titanium dioxide. ECHA. 2021
- European Chemicals Agency (ECHA). Literature study on the uses and risks of nanomaterials as pigments in the European Union. ECHA. 2018
- G. Pfaff. Inorganic Pigments. De Gruyter. 2017
- V. Verougstraete. A Practical Guide: Risk Management of Complex Inorganic Materials. Academic Press 2018

금속제품 세척제 관련 화학물질 규제변화의 영향 조사 및 개선 방안 마련 연구

연구책임자
(재)원진직업병관리재단
노동환경건강연구소
최영은 팀장

연구상대역
산업안전보건연구원 산업화학연구실
이도희 과장

2022년 2월 경남지역의 세척제 취급 사업장에서 근로자 급성중독이 집단 발생하였다. 원인이 된 물질은 트리클로로메탄으로, 기존에 국내외에서 세척제로 사용된 이력이 없는 물질이었다. 조사 과정에서 제조업체가 구성성분 또는 함량 정보를 조작하였다는 사실이 밝혀지기도 하였으며, 사용업체에서는 취급 시 환기와 밀폐 등의 적절한 노출관리 조치를 하고 있지 않다는 사실이 확인되었다. 세척제 시장에서는 규제가 적용되면 규제 대상이 아닌 물질로 대체가 이루어지고, 그 과정에서 주로 고려되는 것은 규제여부, 성능, 비용이며 유해성은 거의 고려하지 않는 것으로 추정되었다. 즉, 세척공정에 적용되는 다양한 화학물질 규제가 올바르게 작동되지 않고 있는 상황이며, 향후에도 유사 사례가 발생할 수 있을 것으로 우려되었다. 따라서 이번 사고에서 드러난 현황 및 문제점을 되짚어 보고, 화학물질 규제가 현장에서 올바르게 작동하도록 개선방안을 모색할 필요성이 있다고 판단되어 본 연구를 제안하였다.

I. 서론

2022년 2월 경남지역의 두 사업장에서 할로겐 세척제로 인한 급성중독이 잇달아 발생하였다. 이번 사고는 「중대재해처벌법」이 시행되던 시기여서 사회적 관심을 크게 받았다. 그러나 산업보건 분야에서 이 사건이 심각하게 받아들여진 배경은 다른 곳에 있었다. 바로 급성중독을 일으킨 원인물질이 트리클로로메탄이었기 때문이다. 트리클로로메탄은 클로로포름으로 잘 알려진 물질로서 할로겐 화합물 중에서도 급성적으로 간 손상을 발생시키는 독성 물질이기 때문에, 실험용이나 연구용으로는 사용하지만 세척제로 사용하는 것은 유럽이나 우리나라에서 사례가 없는 일이 었다. 트리클로로메탄을 사용하게 된 배경이 무엇이며, 얼마나 많은 사업장에서 트리클로로메탄을 세척제로 사용하고 있는지 등 정부는 큰 관심 속에 조사를 진행하였다. 이 과정에서 세척제 성분을 속이거나 함량을 조작하는 등의 문제가 드러났으며, 유독물질의 지정 확대 및 혼합물 함량기준 강화가 배경으로 지적되기도 하였다.

따라서 본 연구는 우리나라 세척작업에서 이러한 문제들이 왜 발생하는지 진단하고, 대책을 마련할 목적으로 수행되었다. 특히, 다음과 같은 중요한 질문들에 대해 답을 찾고자 하였다.

첫째, 세척작업에서 사용할 세척제는 할로겐 세척제와 같은 위험한 물질밖에 없는가?

둘째, 사고가 발생한 사업장에서는 왜 트리클로로메탄을 사용하게 되었는가? 일각의 우려대로 유독물질 관련한 정부 규제의 강화가 중요한 원인인가?

셋째, 정부의 사고조사 결과 등을 종합할

때 이번 사건의 핵심적 원인은 무엇이며, 그에 대해 정부는 어떠한 대책을 마련해야 하겠는가?

II. 연구내용

1. 대체 세척제·세척기술 개발 및 적용에 대한 국내·외 사례

세척작업은 제품의 품질과 가치를 향상시키는데 중요한 공정으로 여겨지고 있으며, 그에 따라 국내 뿐 아니라 해외에서도 안전하고 효과적인 세척작업을 도입하기 위한 연구가 다수 진행되었다. 특히 할로겐 계열의 세척제는 세척 효율 뿐 아니라 건조가 빠르기 때문에 선호되지만, 건강과 환경에 대한 피해를 줄 수 있는 유해성을 가지고 있어 오래전부터 대체 연구가 진행된 편이다. 국내외 사례를 통해 할로겐 세척제를 수계, 준수계, 알코올계 세척제 등으로 대체가 충분히 가능함을 알 수 있다. 다만, 완벽한 대체는 불가능하기 때문에 디클로로메탄이나 트리클로로에틸렌과 같은 할로겐 세척제는 미국이나 유럽 등에서도 아직까지 사용되고 있다. 대신 할로겐 세척제를 사용하지 않아도 되는 작업에서는 알칼리세척제 등 보다 유해성이 낮고 환경에 피해가 적은 물질이 사용되고 있다. 따라서 이번 사고는 대체 세척제 및 세척기술의 부재와 같은 기술적 원인으로 발생된 것은 아니다.

국내 세척제 시장에서도 디클로로메탄이나 트리클로로에틸렌은 계속 사용되고 있었다. 또한, 이번에 사고가 발생한 두 사업장은 기존에 디클로로메탄 등을 사용하였던 곳으로, 국내외에서 세척제로는 거의 사용되지 않는 트리클로로메탄을 굳이 사용한 것은 매우 이례적인 상황으로 볼 수 있다.

2. 트리클로로메탄을 세척제로 사용한 이유

트리클로로메탄을 주성분으로 한 세척제 원료 공급사 및 세척제 제조사와 인터뷰를 실시한 결과, 트리클로로메탄을 사용하게 된 이유는 환경부 「화학물질관리법」에 따른 유독물질에 해당되지 않는 세척제를 사용자 기업이 원했기 때문에 공급했다는 입장을 확인했다. 공급자 기업은 트리클로로메탄이 가진 유해성을 알고 있었고, 사용자 기업에게 국소배기장치가 없어서는 안 된다는 입장을 전달했다고 발언했다. 하지만, 이들 기업의 홈페이지에는 트리클로로메탄이 유독물질이 아니면서 비용이 저렴한 친환경 세척제(혹은

[표1] 유럽 REACH[1] 등록정보에서 확인된 트리클로로메탄의 유해성과 용도

물질명	CAS NO.	성상	유통량 (톤)	유해성분류(CLP Harmonized)	산업적 용도	전문가 용도	소비자 용도	예방주의문구
트리클로로메탄	67-66-3	액체 (BP: 61℃)	100,000-1,000,000	급성독성3(H331), 급성독성4(H302), 발암성2(H351), 피부자극성2(H315), 눈자극성2(H319), 생식독성2(H361d), 표적장기독성-반복(H372)	실험용, 타물질 제조 중간체 (intermediate)	실험용, pH조절제, 수처리제 등 연구개발 및 보건의료 산업에서 사용	없음	먼지, 흄, 가스, 미스트, 증기 또는 스프레이를 마시지 말 것 (호흡기로 노출되지 말 것)

1) 화학물질에 관한 유럽연합 규제체계(REACH, Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals)

대체 세척제)라는 홍보가 이루어지고 있어 인터뷰 결과와 다른 정황도 확인되었다.

반면, 세척제 사용자들은 공급자들이 먼저 와서 규제에 해당되지 않는다며 마케팅을 한다는 입장이었다. 대부분의 사용자들은 세척제의 화학적 성능과 법적 규제를 잘 알지 못해 세척제 공급자들에게 정보를 의존하고 있으며, 규제회피는 세척제 공급자들이 유도하고 있다고 하였다. 한편, 공급자들의 입장처럼 사용자들이 규제에 해당하지 않는 세척제를 선호하는 것은 분명하게 확인되었다. 사용 기업의 사업주들도 작업환경측정이나 특수건강진단 등 법적으로 지켜야 하는 사항들이 생기니 세척제에 규제물질이 들어있지 않다고 하면 바꾸는 것을 적극적으로 검토하기도 하며, 원청의 요구로 인해 규제에 해당하지 않는 물질을 선호하고 있었다.

즉, 세척제 공급자(제조·수입사)는 규제 변화를 지속적으로 모니터링하면서 유해성을 고려하지 않고, 규제에 해당되지 않으면서 기존 물질(트리클로로에틸렌, 디클로로메탄 등)과 물리화학적특성이 비슷한 세척제를 개발해오고 있었다. 동시에 규제회피를 마케팅에 활용하고 있었다. 세척제 시장에서 안전한 제품의 개발이 이루어지지 않고 있는 상황에서 트리클로로메탄 세척제가 시장에 등장하게 된 것으로 추정된다. 이는 세척제 제조·수입사의 사회적 책임이 없는 이윤추구 때문이라고도 볼 수 있지만, 잘못된 유해성에 대한 인식이 작용했을 가능성도 있었다. 이는 인터뷰에서 확인할 수 있었는데, '규제에 해당하는 물질만 진짜 유해성이 확실한 것'이라고 생각하여 규제에 해당하지 않으면 위험하지 않다고 인식하거나, '그동안 문제가 되지 않았으니 위험하지 않다'고 생각하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

이에, 유독물질 지정이나 특별관리물질 지정 등의 규제가 세척제 시장에 영향을 주는 것인지 확인하고자 톡스프리[1] 데이터베이스를 활용해 규제의 시점과 MSDS(물질안전보건자료) 작성연도별로 성분 변화를 분석하였다.

톡스프리에 등록된 제품과 MSDS 개수를 분석하여 이를 전체 세척제 시장 규모라고 볼 수 없다는 한계가 있지만, 「산업안전보건법」의 특별관리물질 지정과 「화학물질관리법」의 혼합물 함량기준 강화가 영향을 미치는 것으로 나타났다(그림 1).

특히 유독물질 지정 확대 또는 유독물질 함량기준이 강화되는 시점에 MSDS상의 주요 성분이 바뀌는 것을 통계적으로 확인할 수 있었다. 그리고 인터뷰에서 2015년 이후 이러한 현상이 본격화되었다는 것을 알 수 있었다. 구미 불산 누출사고 이후 전면 개정된 「화학물질관리법」이 강력하게 이행력을 확보함에 따라, 세척제 공급자와 사용자들의 유독물질 회피 현상이 더 강화되었다는 것이다. 「유해화학물질관리법」 시절에 유독물질은 관할 지자체에게 영업신고만 하면 되었던 반면, 「화학물질관리법」 시행 이후 유독물질은 영업허가를 받아야 되는 것으로 규제가 강화되었다. 영업허가를 위해서는 시설기준과 취급기준 등을 갖춰야하며, 영업허가의 승인과 사업장 점검 등의 주체는 지자체에서 환경부로 이관되며 규제 이행력이 강화되었다. 유독물질에 대한 규제 이행력이 약했던 「유해화학물질관리법」 시절의 유독물질은 회피의 대상이 아니었던 것이다.

여기서 중요한 것은 규제가 강화되면서 세척제 시장이 규제되는 물질을 회피하는 경향을 보였는데, 주로 사용되는 솔벤트 세척제(유기용제 세척제) 성분은 이미 규제가

1) 톡스프리(Toxfree.kr)는 노동환경건강연구소, 사람과환경연구소, EHS프렌즈가 2016년에 공동개발한 웹기반 사업장 화학물질 관리 도구임

강화되었다는 것이다. 그렇다면, 2019년부터 세척제 제조업체들은 다른 물질로의 대체를 고민했을 것이다. 하지만 이번 사고를 일으킨 세척제 제조업체인 C 제조업체처럼 MSDS에 성분을 감추거나 속여서 영업한 제조업체들도 있을 것이다. 이번 사고가 사회에 드러나지 않았다면, 많은 세척제 제조업체들이 C제조업체와 같은 방식으로 영업할 가능성이 컸을 것이다.

3. 급성중독 발생의 중요 원인

이번 사고가 발생한 두 사업장 모두 「산업안전보건법」을 위반하고 있었다. 관리대상 유해물질을 사용하면서도 국소배기시설을 설치하지 않거나 효과적으로 작동상태를 유지하지 않았다. 따라서 책임은 사업주들의 법 위반에 있지만, 또 다른 원인도 존재한다. A사업장에서는 트리클로로메탄에 대한 작업환경측정이 이루어졌으나 불검출이었다. B사업장에서는 트리클로로메탄을 측정하지 않았다. 그 이유는 이전에 사용한 세척제 정보로 작업환경측정을 실시했기 때문으로 보인다. 어쨌든 제대로 된 작업환경측정이 이루어지지 않은 것도 중요한 원인이라 할 수 있다. 그나마 건강검진 과정에서 간 손상이 발견된 것은 다행이었다. 이와 같이 사업장에서는 노동자의 간 손상이 급성적으로 발생할 수밖에 없는 환경이 조성된 것은 확실하였다.

그러나 본 연구에서는 또 다른 원인을 주목하였다. 두 사업장 모두 사고 이전에는 디클로로메탄을 사용하였으나, 트리클로로메탄으로 변경한 이후 급성중독이 발생한 것으로 확인되었다. 기존 세척제에 비해 간 손상이라는 특이적 유해성을 가진 물질을 사용함으로써 노동자들의 고농도 노출실태가 드러난 것으로 볼 수 있다. 즉, 작업환경 관리를 하지 않은 사업장 요인과 부실한 산업보건서비스의 문제, 그리고 유독물질 관리기준을 회피하려다가 간 손상을 유발하는 물질을 사용하면서 발생된 사고라는 해석이 가능하다. 따라서 본 연구는 새로이 등장한 원인인 규제회피 행위에 대해 본격적 조사를 수행하였다.

4. 규제회피 행위와 관련된 시장 요인 분석

회피행위 그 자체는 문제가 아니라 회피행위가 위법적 성격을 갖는 것이 문제이다. 이러한 규제회피는 단순히 규제의 문제로 발생하기보다는 규제환경인 시장의 문제점에 의해 기인되었을 가능성이 있다. 따라서 본 연구는 탈법이나 회피행위를 유발한 시장요인을 규명하였다. 최근 ESG 정책이 강화되고 있으며 대기업에서는 공급망관리 정책도 강화되는 추세이다. 대기업은 일반적으로 계약 시 협력사에게 안전관리노력이 포함된 행동규범을 요구하고 있다. 그러나, 세척제 사용자 기업들은 형식적 서류관리일 뿐이라고 일축했다. 실제로 사고가 발생한 두 사업장 모두 대기업의 1차 및 중요 협력사였으나, 이런 문제들이 공급망 관리에서 발견되지 않았다.

사업장이 국소배기장치를 설치하지 않아 노동자들이 과도한 세척제 증기에 노출되어 간 손상에 이르게 되었으므로, A사업장은 원청의 협력회사 행동규범도 위반한 셈이다. 만약, A사업장이나 B사업장이 「산업안전보건법」 위반과 「화학물질관리법」 회피뿐만 아니라 공급망 정책까지 이행하지 않은 것이 맞다면, 이는 동일한 목적과 배경 때문일 가능성을 검토해야 한다. 왜냐하면 우리나라의 시장질서가 협력회사로 하여금 법적 책임이나 윤리적 책임을 이행할 환경을 제공하지 않는다는 기존 연구결과와 본 연구의 인터뷰가 있었기 때문이다.

사실 정상적 시장에서 위법적 규제회피 행위는 잘 드러나지 않는다. 그런데 본 연구의 인터뷰를 통해서 유독물질을 회피하려는 시도가 매우 광범위한 차원에서 진행되고 있다는 점을

알 수 있었다. 이것은 개별적인 나쁜 사업주의 문제가 아니라 시장 자체의 문제가 크게 작용할 가능성을 보여준 것이다. 인터뷰에 응한 세척제 공급자와 사용자들은 모두 하나의 원인을 지적하고 있었다. 공급망에서 부품단가가 너무 낮게 책정되고 있으며, 세척단가가 부품단가에 제대로 반영되지 못하고 있다는 점이었다. 납품단가를 적절히 반영하지 않고 협력회사의 목소리에 귀를 기울이지 않으면서 일방적으로 안전보건 책임 준수를 요구한다면, 우리는 이것을 위험의 외부화라고 부를 수 있다. 위험의 외부화 환경에서는 협력회사는 규제를 미이행하거나 회피하는 것과 동일하게 공급망 정책을 미준수할 가능성이 있다.

하도급의 불공정거래, 즉, "단가 후려치기"는 인터뷰를 통해 많은 이야기가 나왔다. 사용자들은 세척제 단가가 상승하는 것과 시설 등의 투자를 꺼리는 경향이 있었다. 그 이유는 안전보건을 등한시하는 대표자들의 인식 문제도 있었으나, 비용의 문제가 가장 큰 이유였다. 원청에서 납품단가 결정시 투자비용 등을 감안해주지 않아 단가가 맞지 않기 때문이었다. 공급망에서 납품단가가 너무 낮게 책정되고 있으며, 세척단가가 납품단가에 제대로 반영되지 못하고 있다는 점이었다.

그리고 또 하나의 요인은 이러한 회피행위가 쉽게 적발되지 않을 것이라는 판단이 있었다. 유독물질을 회피하는 경우 환경부는 유독물질을 사용하지 않는 것으로 간주하기 때문에 사업장의 시설기준이나 취급기준을 감독하러 오지 않으며, 고용노동부는 노출기준을 초과하지 않는 한 화학물질에 관련한 별도의 감독이 오는 경우가 드물다고 보고 있었다. 즉, 낮은 부품단가에 적응하기 위하여 생산비용을 줄여야 하는데, 위법적 규제회피 행위를 하더라도 적발 가능성이 낮은 세척작업에서 생산비용을 줄이는 것이 관련 업계의 관행처럼 형성되었다고 평가할 수 있었다.

I. 결론 및 정책제언

1. 결론

첫째, 이번 사고는 대체 세척제 및 세척기술의 부재와 같은 기술적 원인으로 발생된 것은 아니었다. 국내외 사례를 통해 할로겐 세척제를 수계, 준수계, 알코올계 세척제 등으로 대체할 수 있음을 확인하였다. 다만, 완벽한 대체는 불가능하기 때문에 미국, 유럽 등에서도 꼭 필요한 작업에 대해서는 디클로로메탄이나 트리클로로에틸렌 같은 할로겐 세척제가 여전히 사용되고 있다. 따라서 이번에 사고가 발생한 사업장에서 트리클로로메탄을 굳이 사용해야 할 이유는 없었다. 기존에 디클로로메탄 등을 이미 사용했었기 때문에, 국내외에서 세척제로의 사용 이력이 거의 없는 트리클로로메탄을 사용한 것은 매우 특수한 상황이라고 볼 수 있다.

둘째, 규제변화가 세척제 원료 변화에 직접적인 계기로 작용한 것으로 추정된다. 톡스프리 데이터베이스를 활용해 분석한 결과, 유독물질의 지정 확대나 함량기준 강화 시점에 MSDS상 세척제 성분이 바뀌는 것을 통계적으로 확인할 수 있었다. 또한, 인터뷰를 통해 「화학물질관리법」이 2015년 전면 개정되면서 강력한 이행력을 확보함에 따라, 세척제 시장에서 유독물질 회피 현상이 더 본격화되었음을 알 수 있었다. 이러한 현상은 특정 사업장에만 국한된 문제는 아니며, 우리나라 할로겐 세척제 시장과 사용자의 구조적 문제가 존재하고 있었다.

셋째, 이번 사고는 사업장의 작업환경 관리 부실, 산업보건서비스의 부실, 그리고 규제회피 행위가 연계된 사고이다. 그런데 규제회피 행위라는 원인은 새롭게 인식된 것으로, 화학물질 관리가 계속 강화될 것으로 예상되는 우리나라에서 규제회피 행위가 만연하게 이루어진다면 규제가 비효율적으로 작동될 것이므로 더욱 중요한 문제라 할 수 있다. 연구결과 규제회피는 비용 절감 차원에서 진행된 것으로 특정 사업장만의 문제는 아니었다. 한편, 규제를 회피하더라도 발견되기 어려울 것이라는 사업주들의 판단은 중요한 정책문제라고 할 수 있다.

넷째, 우리나라는 시장 내에 위험을 외부화하는 정책과 문화가 지배적이어서 규제가 성공하기 매우 어려운 상황이며, 시장의 자율적관리 노력도 부실한 것이 확인되었다. 사고가 발생한 두 사업장으로부터 부품을 공급받는 대기업들의 경우 협력회사 관리 정책도 있고 ESG 정책도 명확하게 존재했다. 그러나 두 사업장에서 발생되는 문제를 예방할 수 없었다.

다섯째, 세척제 사용자 기업만 관리하는 것으로는 충분하지 않다. 세척제 공급자들은 시장 내 위험의 외부화를 마케팅에 연결하고 있어, 규제회피를 적극적으로 조장하는 키플레이어로 역할하고 있다. 세척제 공급자는 적극적으로 규제회피를 유도하여 이익을 추구하는 탈법적 행위를 하고 있다. 따라서 세척제 공급자와 사용자에 대한 별도의 대책을 마련할 필요가 있다.

여섯째, 해외사례를 볼 때 세척제 산업의 안전성을 높이는 것은 가능하다. 미국이나 유럽이 세척제 관련하여 별도의 강력한 규제를 가지고 있는 것은 아니다. 그들이 사용하지 않는 세척제를 우리가 사용하려고 했던 이유가 중요하다. 즉, 우리나라의 규제가 잘못되었다기보다는 시장의 관행이 규제의 작동에 협력적이지 않았다는 시각이 필요하다. 우리나라의 화학안전 규제가 해외에 비해 미흡한 것이 아니라, 공정거래 관행이 미흡한 것이 문제일 뿐이다. 해외의 성공적인 세척제 대체 등을 우리나라에서도 벤치마킹하여 추진할 필요가 있는데, 이때 시장환경을 고려하여 실현가능한 경로를 개발하는 것이 필요하다.

2. 정책제언

첫째, 고용노동부는 정책을 마련할 때 불공정한 시장 문제로 인해 기업들이 규제회피를 일상적으로 선택할 가능성이 높다는 것을 전제하고, 이러한 환경에서 규제가 효과적으로 작동될 방안을 마련해야 한다. 본 연구에서는 특히 세척제와 같이 유독물질 원료를 많이 사용하는 제품에 대해 규제 강화로 인한 회피의 발생 여부를 국가가 감시하는 체계가 필요하다고 판단한다. 고용노동부의 MSDS 데이터베이스를 활용한다면, 시장 내 규제회피가 우려되는 제품군을 찾아내는 것은 가능할 것이기 때문이다. 이러한 예측에 기반하여 고용노동부의 감독행정이 달라질 필요가 있다. 사업장 방문조사 기준에 규제회피 우려 제품군을 사용하는 사업장이 들어가는 것이 타당하다.

둘째, 제품 공급자들에 대한 정책을 개발해야 한다. 공급자의 이익을 위하여 사용자의 규제회피를 조장하는 태도를 처벌할 수 있는 근거를 마련할 수 있는지 검토가 필요하다. 만약 법적 처벌이 불가능하다면 시장에서 이들의 행위를 국가가 관찰하고 있다는 메시지를 주는 정책을 도입해야 한다. 이들은 정부가 지켜보고 있는 상황에서 마케팅으로 불법적 메시지를 전달하지는 못할 것이기 때문이다.

셋째, 시장과 공조체계를 구축할 필요가 있다. 대기업의 ESG 정책은 부실하기는 하지만 향후 효과적으로 정부의 정책에 도움이 될 수 있는 도구라는 인식이 필요하다. A사업장의 경우 AA대기업의 공급망관리가 실제로 집행되었다면 문제를 예방하는데 크게 기여하였을 것이라는 점이 드러났다. A사업장에서 세척제 원료 변경을 AA대기업에 보고하고 검토를 요청하였기 때문이다. 실제로 공급망관리 정책에서 유해한 원료들을 사용하는 것을 감시하는 자율관리체계가 작동된다면 정부는 이를 적극 응원하고 활용하는 것이 타당하다.

넷째, 해외사례를 볼 때 안전한 세척제를 개발하고 보급하는 것은 정부의 고유한 역할이다. 다만, 비용의 문제나 시설의 문제 때문에 이러한 대체 세척제에 대한 선호도가 저절로 높아지지는 않을 것이다. 정부가 금속가공 사업장이 밀집된 산업단지에서 실험적으로 대체 세척제를 사용하는 시설을 운영하는 등의 공공성 있는 대안을 모색하는 것도 방법이 될 수 있다. 대체 세척제 사용이 될 수 있는 시장 내 요인을 정부가 찾아내 더 많은 기업들이 안전한 선택을 하도록 유도할 수 있도록 중장기적 로드맵을 마련하는 것이 필요하다.

참고문헌

- 경남신문. 대흥알앤티 '급성중독' 핵심은 작업환경 개선 의지 부재. 2022.3.2. 기사 (http://www.knnews.co.kr/news/articleView.php?idxno=1371202)
- 고용노동부. 산업현장 "가짜 친환경 세척제" 주의보...고용노동부-환경부 합동 단속키로. 2022.3.27. 보도자료
- 고용노동부. 화학물질 급성중독 발생경보(제2022-2호, 디클로로메탄). 2022.3.30.
- 김승철, 김현용. 전자산업 구매업체와 협력업체간 파트너십 특성이 공급사슬관리(SCM) 성과에 미치는 영향. 한국scm학회지. 2008;8(1):1-14
- 김원, 김신범, 조준희, 최인자, 강태선 등. 산업안전보건법 내 유해물질 제한 제도화 방안 연구. 산업안전보건연구원. 2020
- 김한성, 배재흠. 수계세정제의 첨가제에 따른 세정성 평가연구. CLEAN TECHNOLOGY 2006;1(1):1-9
- 김형아, 김수근, 어원석, 이채관, 김신범, 허용. 급성중독 발생 화학물질의 사업장 유통·관리 실태에 관한 조사 연구. 산업안전보건연구원. 2016
- 리의재. 상압 플라즈마 매개변수들이 산업용 전자부품의 세척공정(cleaning)에 미치는 효과. 한국표면공학회지. 2009;42(5):208-215
- 매일경제. 같이 작업했는데...두성산업 피해자 16명中 10명만 중대재해법 적용. 2022.8.26. 기사
- 매일노동뉴스. [노조 배기장치 개선 요구했는데] '급성중독' 업체 사용자 1년간 '묵묵부답'. 2022.3.14. 기사
- 매일노동뉴스. [노동부 대흥알앤티 압수수색] 독성 세척제 급성중독 사태 '일파만파'. 2022.3.24. 기사
- 매일노동뉴스. [대흥알앤티 불기소 이유서 보니] '독성간염' 같은데 검찰은 '형식적 조치'만 하면 무혐의. 2022.7.8. 기사
- 매일신문. 하도급 '대금 갑질' 시정 50% 늘어나. 2016.6.12. 기사
- 명현국. 대체세정기술 및 대체세정제 개발현황. 공기청정기술 1994;7(2):33-47
- 바이켐(주). 생산기술사업화 지원사업(현장맞춤형 기술개발 부문) TCE, MC 대체 세정제 개발 및 그 제조기술 개발. 한국산업단지공단. 2013
- 배재흠, 김정식. 환경친화적 수계/준수계 세정 기술. CLEAN TECHNOLOGY 1997;3(2):36-46
- 배재흠, 신민철, 이통영, 조기수. Methylene Chloride의 대체세정제 적용 사례 연구. Journal of the Korean Institute of Surfeace
- Engineering. 1999;32(2):109-124
- 배재흠. 최근의 대체세정제와 대체세정기술. Prospectives of Industrial Chemistry. 2004;7(6)
- 신진호, 이재훈, 배재흠, 이민재, 황인국. 대체 세정제의 선정을 위한 셍정성 평가방법 연구. CLEAN TECHNOLOGY 20091;5(2):81-90
  씨스켐닷컴. 대체 세정제 : 초미의 관심사. 케미칼리포트. 1997
- 안전보건공단. 국내 재해사례(질식 중독).
- 양산신문. 스리랑카 큰로자, 발암물질 중독 파문. 2015.6.16. 기사
- 연합뉴스. 보호장구도 없이 유독물질에 노출된 외국인노동자. 2015.7.7. 기사
- 이나루. 중대재해처벌법 시대 세척제 급성중독 사건을 통해 본 사업장 화학물질 관리를 위한 산업위생전문가의 역할. 한국산업보건학회 2022년 하계학술대회 기조주제강연. 2022.8.25.
- 정찬교, 구회준. 금속세정공정의 청정기술 적용사례. CLEAN TECHNOLOGY 1997;3(2):57-73
- 정덕채, 이기창, 공승대, 목갑영, 이석우. 1,1,1-TCE에 대한 비수계성 대체세정제의 최적 세정공정. J of Korean Oil Chemists' Soc. 1999;16(3):1-4
- 정경숙, 안연순, 김현수, 김치년, 김동현 등. 1,2-디클로로프로판 등 세척제 취급 실태조사 및 건강모니터링 체계 구축. 산업안전보건연구원. 2017
- 정연숙. LG전자 하청회사 노동자 발암물질 중독... 구광모 회장 ESG 경영에 찬물. 한국증권신문. 2022년 2월 22일
- 조승현. 법률회피. 재산법연구. 2011;28(1):157-94.
- 중기이코노미. 현대차 1차 협력 갑질...직서열 생산방식 지목. 2019.4.25. 기사
- 중소기업중앙회. 대·중소기업 불공정거래 실태조사 보고서. 2020
- 참여와혁신. 자동차부품제조업 불공정거래, 당사자는 어떻게 느낄까? 2021.1.6. 기사
- 창원지방검찰청. 중대재해처벌법위반사범 최초 기소. 2022.6.27. 보도자료
- 채자영, 이주연, 홍경표, 강태선. 독성물질 저감을 위한 TURA 도입방안에 대한 연구. 한국산업보건학회지, 2017;27(4):257-268
- 최병선. 규제수단과 방식의 유형 재분류. 행정논총. 2009;47(2):1-30.
- 하봉구, 김진석, 유재용, 우극현, 함정오 등. 주성분이 염화메틸렌인 재생 세척제를 취급하는 근로자에서 발생한 독성간염 1예. 대한직업환경의학회지. 2004;16(2):210-219
- 하현철. 화학물질 관리 현황과 개선 방향 토론회 발표자료. 2022.4.25.
- 한국화학시험연구원. 국내외 대체세정기술 현황 및 1,1,1-TCE 대체세정기술 적용사례(수계/탄화수소계). 2006
- 환경부. 가짜 친환경 세척제 주의보...산업현장 부처 합동 단속. 2022.3.27. 보도자료
- ECHA. REACH Registration Dossier – Chloroform (67-66-3).

화학물질의 발암성 평가에 대한 새로운 접근 -세포형질전환분석법을 이용한 단기발암 예측

연구책임자
산업안전보건연구원 흡입독성연구센터
임철홍 선임연구위원

화학물질로 인한 직업암 예방의 첫 단계는 발암성 물질을 확인하는 것이라고 할 수 있을 것이다. 유전자에서의 악영향이 암을 일으키는 대표적인 원인이지만, 유전자에 직접적으로 영향을 주지 않는 화학물질도 암을 일으킬 수 있다. 암은 다양한 원인 및 기전에 의해 발생하고 또한 다양한 형태로 나타나기 때문에 발암물질의 확인 및 평가를 위해 실험동물을 사용한 장기간의 생물검정시험이 우선적으로 요구되던 시기도 있었다. 그러나 생명윤리가 강화됨에 따라 실험동물의 과도한 희생이 요구되는 생물검정시험의 수행은 점점 어려워지고 있다. 특히, 발암성평가에 있어 생물검정시험 자료의 의존도가 높은 비유전독성물질의 발암성 확인 및 평가를 위한 대체시험법 개발 및 이를 이용한 평가체계의 적용이 시급히 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 Anisol, 1,2-Dichlorobenzene, 2-Methoxyethanol 3종의 산업화학물질에 대하여 비유전독성 발암물질의 잠재성을 확인하기 위하여 세포형질전환시험법 및 후성유전학적인 평가법을 통하여 탐색하고자 하였다.

I. 서론

암으로 인하여 연간 8백만 명 이상이 사망하는데, 암으로 인한 사망은 향후 20년간 70% 이상이 증가할 것으로 예측되고 있다. 암은 100종 이상의 하위유형이 확인되는 등 복잡한 양상을 보이고 있어 치료뿐 아니라 원인을 확인하는 것도 어렵다. 1775년 굴뚝청소부의 음낭암, 1895년 염료공에서의 방광암 등 다수의 발암물질이 근로자의 안타까운 희생을 통하여 확인되었다. 이후에는 실험동물을 이용한 생물검정시험을 실시하여 발암물질을 확인하고 있지만, 생물검정시험법은 많은 시간과 비용이 요구되어 모든 화학물질에 바로 적용되지는 않고 사용량이 많거나 또는 사람에서의 노출이 우려되는 화학물질에 우선적으로 적용하고, 그 외의 화학물질은 사전 스크리닝 시험을 거쳐 발암가능성이 높다고 인정되는 경우에 한정하여 적용되고 있다.

발암성평가에 있어 사전 스크리닝 시험의 핵심 가설은 체세포에서 유전자 변이가 일어나면 암유발의 가능성이 높다는 것이다. 이 가설을 근거로 발암성 평가는 첫 단계에서 미생물 돌연변이시험과 포유류 배양세포에서의 유전독성시험을 실시하여 그 결과 유전독성이 의심되면, 동물시험에서 추가적으로 유전독성을 확인하여 생물검정시험의 실시 여부를 결정하였다. 30년 이상의 축적된 결과를 통하여 미생물에서의 돌연변이시험은 유전독성을 일으키는 발암물질의 스크리닝에 있어 매우 효과적인 것으로 판단되지만 유전독성 확인을 위해 수행되는 동물시험은 민감도가 높지 않아, 현재의 발암성평가는 발암물질을 완전히 확인하지 못하는 한계가 있다. 발암성평가에 있어 또 다른 이슈는 유전독성을 일으키지 않는 비유전독성물질의 발암성 확인이다. 사용량이 많거나 노출이 우려되는 화학물질은 유전독성을 일으키지 않더라도 생물검정시험을 실시하여 발암성평가를 실시하였으나, 생명윤리의 강화 등으로 인하여 생물검정시험의 결정은 더욱 엄격해지고 있으며, 따라서 유전독성을 일으키지

않는 비유전독성물질의 발암성시험 및 평가방법의 개발은 더욱 필요하게 되었다.

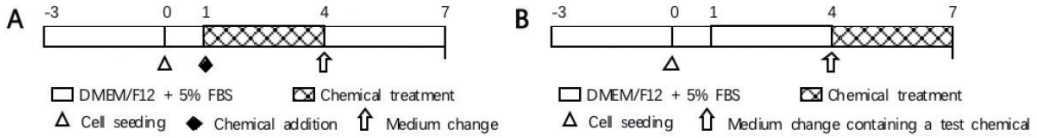
대량의 실험동물을 사용하는 생물검정시험의 대체방법으로 세포수준에서 발암과정을 모사한 세포형질전환시험(CTA, Cell Transformation Assay)이 다시 관심 받고 있다. 세포형질전환시험은 암이 진행되는 과정에서 분자수준의 메카니즘 정보를 제공하지 못하지만, 세포수준에서 암과 관련된 형태학적인 변화를 확인할 수 있다는 장점이 있어 발암평가에 있어 보충자료로의 활용성은 높게 평가되고 있었다. 최근에는 후성유전학적인 변화 등 발암기전연구와 연계하여 발암성평가에 있어 중요한 자료로 검토되고 있다. 특히 유전독성을 일으키지 않는 비유전독성의 발암성평가 있어 더욱 유용한 것으로 평가되고 있다. 암은 진행에 있어 내분비계 변화, 면역억제 및 염증 반응 등 암을 촉진하는 복합적인 발현경로를 보이기 때문에 하나의 시험 또는 시험체계만으로 비유전독성물질의 발암성을 평가하는 것은 사실상 불가능하기 때문이다. 최근에는 암의 발현과 관련하여 디옥시리보핵산 메틸화(Deoxyribo nucleic acid(DNA) methylation), 히스톤 변화, 코딩되지 않은 리보핵산(RNA, RiboNucleic acid)과 염색체 재형성 등과 같은 후성유전학적인 변화의 확인이 필요하며, DNA 메틸화에 따른 유전자 표현의 변화가 다양한 암과 관련되어 있다고 밝혀지고 있기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 작업장에서 많이 사용되며, 비유전독성물질로 평가되고 있는 2-Methoxyethanol, Anisol, 및 1,2-Dichlorobenzene에 대하여 세포형질전환 시험과 함께 후성유전학적 지표인 DNA 메틸화를 분석하여 비유전독성물질의 발암성 평가에 적용하고자 하였다.

II. 연구내용

(1)Bhas 42 세포를 이용한 세포형질전환시험법 확립

JRBC(Japanese Collection of Research Biosources Cell Bank)에서 Bhas 42 세포를 분양받아 발암개시 단계에서의 양성대조물질인 3-Methylcholanthrene(MCA, Sigma-Aldrich)과 발암촉진 단계에서의 양성대조물질인 12-O-Tetradecanoylphorbol-13-acetate(TPA, Sigma-Aldrich)를 사용하여 세포형질전환시험법을 확립한 후, 2-Methoxyethanol, Anisol, 및 1,2-Dichlorobenzene의 세포형질전환시험을 수행하였다. 음성대조물질은 Dimethyl sulfoxide (DMSO)를 사용하였다.

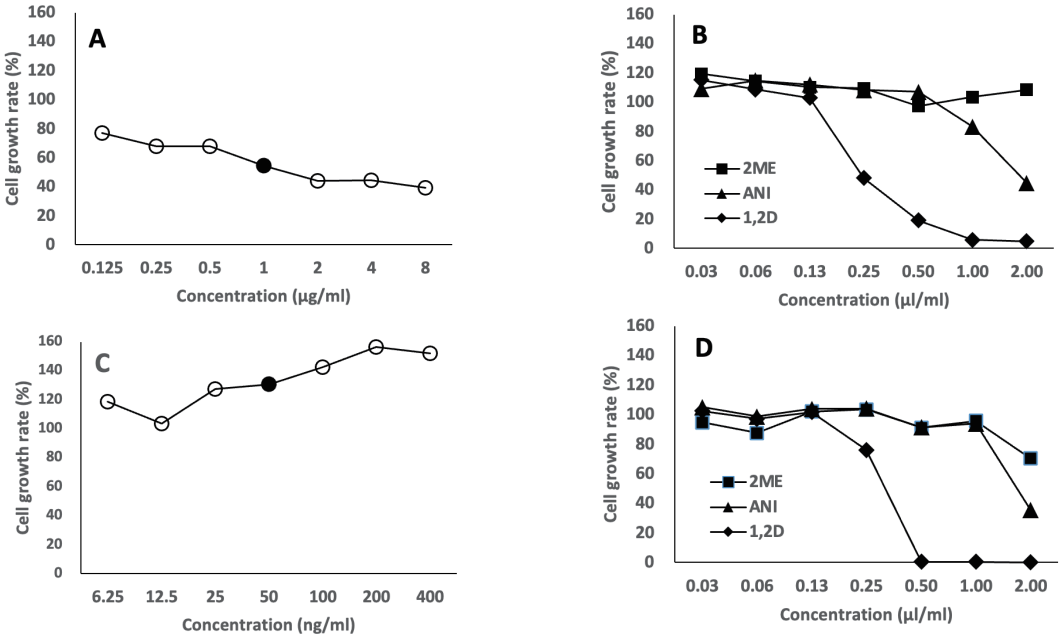


[그림1] 세포독성시험 일정. A, 발암개시시험; B, 발암촉진시험

세포형질전환시험에 적용할 시험물질은 [그림 1]과 같은 일정으로 수행하였다. 발암개시시험은 세포 접종 후 1일에서 4일 사이에 시험물질을 처리하였고, 발암촉진시험은 세포 접종 후 4일에서 7일 사이에 시험물질을 처리 하였다. 처리 후 세포독성시험 결과는 [그림 2]와 같다.

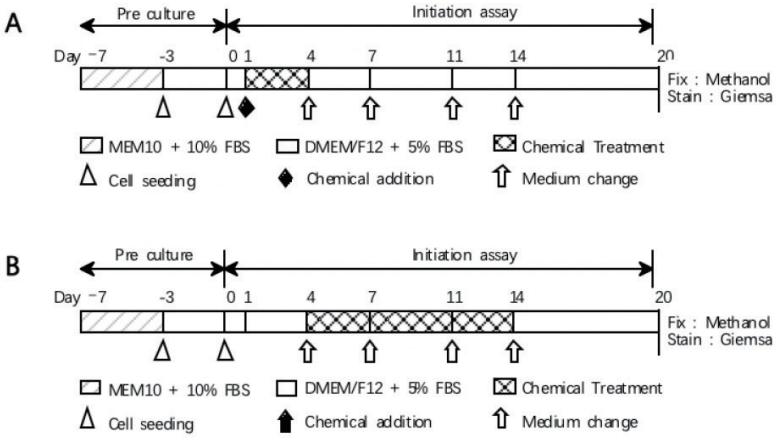
발암개시단계에서 양성대조물질 MCA 1 ㎍/㎖의 세포생존율은 54.5%[그림 2-A], 발암촉진단계에서 양성대조물질 TPA 50

ng/㎖의 세포생존율은 130.7%[그림 2-C]로 나타났는데, 이는 이전의 여러 연구자들의 결과와 유사하였으며, 따라서 세포형질전환시험에서의 2-B] 및 [그림 2-D]와 같다. 시험물질 각각에 대하여 세포독성을 일으키지 않는 2 농도(세포 성장률 90% 이상), 약한 세포독성을 일으키는 2 농도(세포



[그림2] 양성대조물질 및 시험물질의 세포독성시험 결과

양성대조물질은 발암개시단계에서는 MCA 1 ㎍/㎖, 발암촉진단계에서는 TPA 50 ng/㎖를 사용하였다. 2-methoxyethanol, Anisol, 및 1,2-dichlorobenzene의 발암개시단계 및 발암촉진단계에서의 세포독성시험결과는 각각 [그림 성장률 90% 미만, 50% 이상) 및 상당한 세포독성을 일으키는 1 농도(세포 성장률 50% 미만)에서 실시될 수 있도록 처리농도를 결정하여 [그림 3]의 일정으로 발암개시시험(A), 발암촉진시험(B)을 수행하고 그 결과는 〈표 1〉에 나타내었다.



[그림3] 세포형질전환시험 일정. A, 발암개시시험; B, 발암촉진시험

세포형질전환시험결과 발암개시단계에서의 양성대조물질인 MCA에 의해 세포형질전환 초점의 수가 DMSO 대조군에 비해 유의하게 증가하였으며, 발암촉진단계에서도 양성대조물질에서의 형질전환초점이 DMSO 대조군에 비하여 유의하게 증가한 것이 확인되어 시험계의 적정성은 확인되었다. 한편, 3종의 산업화학물질은 세포개시단계 및 촉진단계 모두에서 형질전환초점의 유의한 증가는 관찰되지 않았다.

(2) 유전자 메틸화 분석

후성유전학적인 영향을 확인하기 위하여 발암촉진시험의 종료일 유전자를 추출하여 285,000 이상의 CpGs 위치에서 메틸화를 분석하였다. 메틸화 분석은 음성대조군과 시험물질 처리군과에서의 메틸화 강도 차이를 나타내는 델타평균값 0.2를 기준으로 하였다. 본 연구에서는 고밀도 CpGs 섬에서 메틸화 수의 차이가 저밀도 CpGs 섬에서의 메틸화 차이보다 높았으나〈표 2〉, 델타평균의 차이가 대부분 0.2 이하로 통계적인 유의성은 없었다.

[표1] 시험물질/대조물질 처리에 의한 세포형질전환 초점 개수 변화

Chemicals	Initiation assay		Promotion assay	
	Concentration	Foci/plate	Concentration	Foci/plate
DMSO	0.1%	6	0.1%	11
MCA	1 μg/ml	17*	–	–
TPA	–	–	50 ng/ml	36*
Anisole	0.25 μl/ml	3	0.25 μl/ml	9
	0.5 μl/ml	8	0.5 μl/ml	9
	1.0 μl/ml	4	1.0 μl/ml	9
	1.5 μl/ml	8	1.5 μl/ml	2
	2.0 μl/ml	1	2.0 μl/ml	9
2-Methoxyethanol	0.25 μl/ml	7	0.25 μl/ml	8
	0.5 μl/ml	6	0.5 μl/ml	6
	1.0 μl/ml	6	1.0 μl/ml	6
	1.5 μl/ml	7	1.5 μl/ml	5
	2.0 μl/ml	10	2.0 μl/ml	8
1,2-Dichlorobenzene	0.05 μl/ml	6	0.05 μl/ml	8
	0.1 μl/ml	6	0.1 μl/ml	6
	0.2 μl/ml	7	0.2 μl/ml	6
	0.3 μl/ml	7	0.3 μl/ml	5
	0.4 μl/ml	Not observed	0.4 μl/ml	Not observed

* Statistically significant difference ($p<0.05$) compared to the negative (DMSO) control group. Foci means the number of well in a 96-well plate that are transformed and observed as foci.

[표2] 음성대조군 대비 델타평균의 차이가 0.2 이상인 CpG 수

Chemicals	Hyper	Hypo
TPA	80	12
Anisol	66	3
2-Methoxyethanol	848	11
1,2-Dichlorobenzene	400	1

TPA, 50 ng/ml; Anisol, 1.0 μl/ml; 2-Methoxyethanol, 1.0 μl/ml; 1,2-Dichlorobenzene, 0.2 μl/ml

[표3] 각 CpG에서의 음성대조군 대비 델타평균 값

Chemicals	−0.3≤X〈−0.2	0.2≤X〈−0.1	−0.1≤X〈0.0	0.0≤X〈0.2	0.2≤X〈.0.3	0.3≤X〈0.4
TPA	12	487	277,538	5,063	79	1
Anisol	3	326	277,107	5,678	64	1
2-Methoxyethanol	11	297	263,302	18,722	752	75
1,2-Dichlorobenzene	1	244	269,762	12,773	367	32

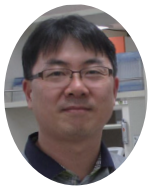
TPA, 50 ng/ml; Anisol, 1.0 μl/ml; 2-Methoxyethanol, 1.0 μl/ml; 1,2-Dichlorobenzene, 0.2 μl/ml

III. 결론 및 정책제언

최근 3D 프린터를 장시간 사용한 과학교사에서 특이암이 보고되는 등 발암성평가의 필요성은 줄어들지 않고 있으나, 생명윤리가 강화됨에 따라 발암성평가의 핵심자료인 실험동물을 이용한 생물검정시험의 수행은 갈수록 어려워지고 있어 실험동물을 사용하지 않는 발암성평가 체계의 개발이 요구되고 있다. 본 연구는 Bhas 42 세포를 이용한 세포형질전환시험법 확립 및 세포형질전환시험에서의 유전자 메틸화특성 확인을 통하여 유전독성을 일으키지 않는 화학물질에 대해서도 적용 가능한 조기발암 지표를 제시하고, 산업현장에서 대량으로 사용되는 3종의 유기용제 Anisol, 2-Methoxyethanol, 및 1,2-Dichlorobenzene에 적용하고자 하였다. 시험결과 3종의 유기용제는 모두 세포형질전환시험 및 유전자 메틸화에 유의한 변화를 일으키지 않아 발암가능성은 크지 않은 것으로 판단되어 현시점에서 발암성 확인을 위하여 장기간과 많은 동물의 희생이 요구되는 생물검정시험은 필요하지 않은 것으로 판단되었다. 다만, 본 연구는 사람에서의 발암여부를 확인하기에는 제한된 지표만을 사용하고 있어 발암 과정과 관련된 다양한 추가적인 기전연구와 함께 사람에서의 영향을 더 잘 예측할 수 있는 시스템의 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

폐플라스틱 열분해 유화 공정 및 생성물질의 위험성

환경부에서는 폐플라스틱의 열분해 처리 비중을 2021년 0.1% 수준에서 2025년 3.6%, 2030년 10%까지 높이겠다는 "폐플라스틱 열분해 활성화 방안"을 발표하고. 2030년까지 전체 기초지자체(226개)의 20% 이상에 열분해 설비를 설치하여 운영할 예정이라고 하였다. 그러나 폐플라스틱을 열분해 하면 탄화수소 가스와 같은 인화성이 높은 물질이 발생하기 때문에 화재·폭발 사고가 다수 발생하고 있지만 사업장 현황 및 사고 발생 현황도 명확하게 파악되지 않은 실정이다. 따라서 폐플라틱 열분해 관련 사업장 현황, 화재·폭발 사고사례, 공정 및 생성 물질의 위험성 등에 대해 조사·분석하고, 그에 따른 안전관리 방안을 제시하고자 하였다.



연구책임자
산업안전보건연구원 산업안전연구실
위험성시험부 서동현 연구위원

I. 서론

플라스틱 폐기물 관련 규제 및 정책의 강화로 플라스틱 재활용 분야의 대안기술 중 하나인 열분해가 주목받고 있다. 폐플라스틱의 열분해란 약 400℃에서 600℃ 사이의 무산소 조건에서 플라스틱을 분해시켜 저분자화합물로 전환시키는 화학반응이다. 폐플라스틱의 열분해에 관한 연구는 300~900℃ 범위의 다양한 온도에서 수행되었지만 일반적인 열분해 최적 온도는 약 500~550℃ 수준인 것으로 보고되고 있다. 폐플라스틱 열분해 공정은 일반적으로 플라스틱 투입(공급), 열분해 반응, 응축, 증류, 유수분리, 저장, 비응축성 열분해가스 소각 등으로 구성되며, 업체에 따라서 세부 단위 공정이 추가 또는 제외되기도 하며 촉매가 사용되기도 한다.

폐플라스틱을 열분해하면 등유나 경유와 유사한 연료로 사용할 수 있는 액상 오일과 석유화학공장의 원료로 사용할 수 있는 나프타(Naphtha)까지도 생산할 수 있다. 또한 열분해 방식으로 폐플라스틱을 처리하면 소각 대비 50%의 이산화탄소 배출을 절감할 수 있다고 보고되었고, 일부 연구결과에서는 플라스틱 1톤 생산 시 석유를 이용할 경우에는 2.3톤의 이산화탄소를 배출하고, 열분해유를 이용하는 경우에는 0.3톤을 배출하여 열분해유로 플라스틱을 생산할 때 이산화탄소 감축효과가 상대적으로 큰 것으로 나타났다.

이에 따라 환경부에서는 폐플라스틱의 열분해 처리 비중을 2021년 0.1% 수준에서 2025년 3.6%, 2030년 10%까지 높이겠다는 "폐플라스틱 열분해 활성화 방안"을 발표하였다. 그리고 2025년까지 연간 폐플라스틱 4만톤 규모의 시설 10개소를 지자체에 시범 설치하고, 2030년까지 전체 기초지자체(226개)의 20% 이상에 열분해 설비를 설치하여 운영할 예정이라고 하였다.

국내에서는 현재 20여개 사업장에서 폐플라스틱 열분해 유화 시설을 보유·운영하고 있으나 대부분 근로자수가 20인 미만의 소규모 사업장이고, 운영기간이 5년 미만인 곳이 많아 체계적인 안전관리를 기대하기 어렵다. 이에 따라 환경부에서는 폐기물관리법 시행규칙에 폐플라스틱 열분해설비에 대한 설치 및 검사기준을 반영하여 2022년 11월에 시행하였다. 그러나 법 시행 이전에 설치된 폐플라스틱 열분해 사업장에서 인화성이 높은 열분해유와 열분해가스에 의한 화재·폭발 사고가 다수 발생하고 있지만 사고 발생 현황은 물론 안전실태도 명확하게 파악되지 않은 실정이다.

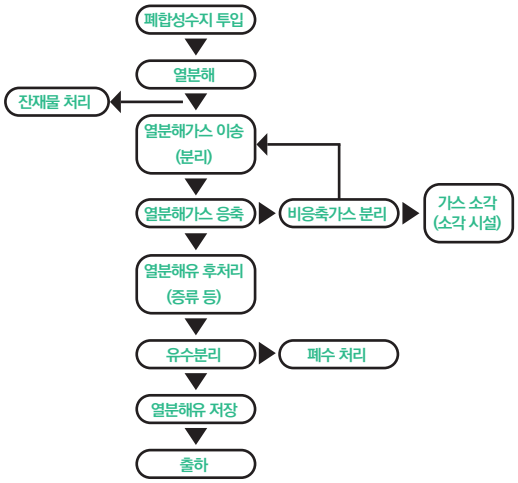
따라서 본 연구에서는 폐플라틱 열분해 유화처리 사업장에서 발생한 화재·폭발 사고사례를 조사 및 분석하고, 공정 취급 및 생성 물질에 대한 화재·폭발 특성 조사 및 시험 수행을 통해 폐플라스틱 열분해 유화처리 공정의 위험성을 파악하여 그에 따른 안전관리 방안을 제시하고자 하였다.

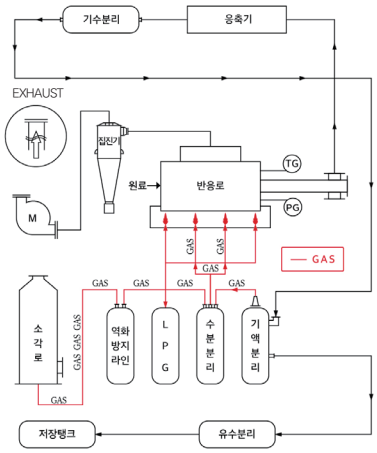
II. 연구내용

2.1 폐플라스틱 열분해 유화 업체 현황

한국순환자원유통지원센터의 자료, 참고문헌, 사고사례 등을 확인하여 국내 폐플라스틱 열분해 사업장을 파악하였다. 2022년 6월말 기준 국내 26개 사업장에서 열분해 설비를 운영하고 있거나 운영을 계획하고 있는 것으로 확인되었고, 사업장 근로자 수 규모는 대부분 20인 미만의 영세한 수준인 것으로 나타났다. 그리고 26개 사업장 중 한국순환자원유통지원센터에 등록된 폐플라스틱 열분해 사업장은 2개의 탈퇴사를 포함하여 총 17개사인 것으로 확인되었다. 이 중 4개 사업장이 2021년, 1개 사업장이 2022년에 신규로 등록된 사업장이었고, 2021년말 기준으로 열분해유 생산 실적이 있는 사업장은 12개소였다.

폐플라스틱 열분해 설비를 실제로 운영하고 있는 대부분의 사업장에서 회분식 반응기를 사용하고 있는 것으로 나타났고, 회분식 반응기 중에서는 로터리 킬른(Rotary kiln) 방식[1)]이 가장 많이 사용되고 있는 것으로 파악되었다.





[그림 1] 폐합성수지 열분해 주요 공정의 흐름도(예)

1) 회전식 가열로. 그림2에서 원형의 물체가 "가열로"이며, 이 원형의 가열로에 플라스틱을 넣고 가열하면서 회전시켜 내부의 플라스틱에 열이 골고루 전달되도록 하는 원리

사업장의 등록 업종은 폐기물처리업, 제조업, 재생업, 원유정체처리업, 도매업 등으로 다양하게 등록되어 있었다.

2.2 사고 발생 현황

폐플라스틱 열분해 사업장에 대한 산업재해 조회 및 인터넷 검색 결과를 기준으로 2010년부터 2021년 사이에 발생한 화재·폭발

[표1] 국내 폐플라스틱 열분해 사업장의 화재·폭발 사고 현황('10~'21년)

순번	사업장 구분	발생 년도	발생 형태	공정 구분	재해개요	반응기 종류
1*	A	2010	화재	열분해	폐비닐 압축펠렛을 열분해한 후 정제하여 보일러 연료유를 생산하는 작업 중 화재 발생 (사망 1명, 부상 2명)	수직 원통형
2	B	2014	화재	가스소각	잉여가스 소각 중 화재 발생(부상 1명)	-
3*	C	2016	화재	잔재물제거	열분해 반응기 투입구에 걸려있는 철사 제거를 위해 휴대용 연삭기로 철사를 절단하던 중 열분해 반응기 내부에서 화염 발생 (사망 1명)	로터리 킬른
4	D	2017	화재	기타	작업 종료 후 안전점검을 위해 공장을 돌아보던 중 한쪽에서 무슨 소리가 나서 확인을 위해 라이터를 켜는 순간 화재 발생 (부상 1명)	-
5		2021	화재	열분해	열분해유 제조 중 기계 설비에서 가스 누출로 인하여 화재 발생 (부상 1명)	
6	E	2018	폭발	확인불가	사업장에서 가스불을 점화하려다 가스밸브가 열려있는지 파악을 못해 점화 과정에서 가스폭발 (부상 1명)	-
7	F	2019	화재	확인불가	열분해 반응기 관련 화재 발생(인명피해 없음)	로터리 킬른
8*	G	2019	폭발	가스소각	가스 소각장에서 가스를 태우기 위해 불붙은 토치를 들고 소각장 문을 열다가 가스 폭발 발생 (부상 1명)	로터리 킬른
9		2020	폭발	열분해	열분해 설비 가동 중 원인 미상의 가스 착화에 의해 폭발 발생 (부상 1명)	
10		2020	화재	열분해	열분해 설비 내부에서 불길이 솟음(부상 1명)	
11	H	2019	화재	가스소각	열분해 소각로 운전 보조 작업 교육 중 관리자가 자리를 비운 사이에 기름 배관이 갑자기 분리되면서 작은 불꽃이 일어난 후 화재 발생 (부상 1명)	로터리 킬른
12*		2020	화재	원료투입	열분해 반응기에 폐기물을 투입하기 위해 뚜껑을 개방하는 순간 가스냄새와 함께 화재 발생 (부상 3명)	
13		2021	화재	잔재물제거	기름성분이 있는 굳은 물질을 빼기 위해 전동드릴을 사용하여 작업하다 드릴과 용기(탱크)와 부딪치며 불꽃이 발생하여 그 불꽃으로 화재 발생 (부상 1명)	
14*	I	2020	화재	가스소각	폐플라스틱 열분해 유화공정에서 발생한 폐가스로 화재 발생 (사망 1명)	교반형 탱크
15*	J	2021	폭발	열분해	폐플라스틱 열분해 반응기 내부압력 상승으로 반응기 전면 커버(덮개) 고정 볼트가 파단 되어 누출된 열분해 증기 및 가스가 점화되어 화재 발생 (사망 2명)	로터리 킬른
16	K	2021	화재	가스소각	소각로 과열 등으로 화재가 발생한 것으로 추정 (인명피해 없음)	로터리 킬른
17	L	2021	화재	정비	옥상에서 배관 용접 작업 중 가스 누출로 화재 발생(부상 1명)	로터리 킬른
18*	M	2021	화재	시운전	열분해유 제조공정에서 원심분리기에 열분해유를 투입하여 시운전 중 화재·폭발 발생 (사망 1명)	로터리 킬른
19	N	2021	화재	확인 불가	공장 소각장에서 착화하기 위해 토치램프를 사용하여 점화하는 순간 화염이 밖으로 토출됨	-

"*" 는 재해조사의견서가 작성된 사고임

사고 현황은 〈표 1〉와 같다. 폐플라스틱 열분해 유화 공정 관련 화재·폭발 사고는 2010년 이후로 13개의 사업장에서 19건이 발생한 것으로 파악되었다. 사고가 발생한 사업장은 대부분 로터리 킬른식 열분해 반응기를 사용하고 있었다. 화재나 폭발사고가 2건 이상 발생한 사업장은 3개소였는데, 이 중 2개소는 최근 3년간 3건의 화재·폭발 사고가 발생한 것으로 확인되었다.

최근 3년(2019년 ~ 2021년) 동안에는 9개 사업장에서 13건의 화재·폭발 사고가 발생한 것으로 나타났다. 참고로, 2021년 화학 및 고무제품 제조업 40,301개 사업장(근로자 수 438,466명)에서 2,816명의 재해자가 발생했고, 이 중 화재·폭발로 인한 재해자수가 56명(폭발파열 36명, 화재 20명)인 것으로 나타났는데, 확인된 폐플라스틱 열분해 사업장 26개소에서 2021년에 화재·폭발로 3명이 사망하고 4명의 부상자가 발생하여 총 7명의 재해자가 발생한 것을 고려하면 폐플라스틱 열분해 사업장 전체의 재해율은 상대적으로 높을 것으로 판단된다.

폐플라스틱 열분해 공정에서의 화재·폭발 사고는 로터리 킬른식 반응기를 사용하는 사업장에서 13건이 발생하여 가장 높은 비율을 보였는데, 이 결과는 대부분의 폐플라스틱 열분해 사업장이 로터리 킬른식 반응기를 사용하고 있는 것과 연관성이 높다고 할 수 있다. 공정별로는 열분해 5건, 비응축성 열분해가스 소각 5건, 잔재물 제거 2건, 원료 투입 1건, 시운전 1건, 정비 1건, 기타 및 확인불가 4건으로 나타나 열분해 및 열분해가스 소각 중 가장 많은 사고가 발생하였다. 〈표 1〉의 사고 발생 후에 A사업장과 I사업장은 폐업한 것으로 나타났고, C사업장은 폐플라스틱 열분해를 중단한 것으로 확인되었다.

[그림2] 로터리 킬른식 폐플라스틱 열분해 반응기

출처: 안전보건공단, 화학사고 사례연구–폐기물 열분해 재생유 생산공정 화재 사고, 2021

2.3 사고 분석 결과

재해조사보고서가 작성된 7건의 사고에 대해 보고서에 있는 내용을 기반으로 사고 원인을 기계 및 설비적 요인, 관리적 요인, 인적 요인, 물질 및 환경적 요인으로 분류한 결과 및 세부 내용은 〈표 2〉와 같다.

기계·설비적인 문제점으로는 공정 및 설비의 설계 결함, 위험물질이 누출될 수 있는 설비 구조, 열분해 설비의 안전장치 미흡, 열분해 설비 부품의 강도 부족 등이 있었다. 관리적인 문제점으로는 작업계획 및 작업절차서 미작성 또는 미흡, 위험성평가 및 개선조치 미흡 또는 미실시, 안전교육 및 안전정보 제공 미흡, 작업 전 안전조치 미흡, 부적절한 작업방법 적용, 설비의 체계적 관리 및 운영 미흡, 폭발위험장소 미설정 및 방폭형 전기기계기구 미사용 등이 있었다. 인적 문제점으로는 열분해 설비 운영 관련 지식, 기술, 경험 부족이 있었고, 물질·환경적으로는 열분해가스 및 열분해유가 누출된 문제점이 있었다. 작업 여건이 열악한 소규모 폐플라스틱 열분해 사업장 특징을 고려하면 이러한 기계적, 관리적, 물질·환경적, 인적 측면 등 전반적인 안전대책을 마련할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 추가로, STAMP[1](System Theoretic Accident Model and Processes)를 이용하여 사업장 외부적인 문제점도 분석하였으나 본고에서는 지면 관계상 내용을 생략하였다.

2.4 폐플라스틱 열분해 시 생성 물질의 위험성

2.4.1 열분해가스

HDPE(High Density Polyethylene), LDPE(Low Density Polyethylene), PP(Polypropylene) 및 PS(Polystyrene)의 열분해 과정에서 발생한 가스의 조성은 주로 메탄, 에틸렌 및 부타디엔과 같은 탄화수소 가스이며, 미량의 프로판, 프로펜, n-부탄 및 기타 탄화수소 함량이 높은 가스로 구성되어 있어 누출될 경우 화재·폭발 위험이 있다. PC(Polycarbonate), PET(Polyethylene Terephthalate), PVC(Polyvinyl Chloride)의 열분해 시에는 탄화수소 가스의 형성과 함께 H, CO2, CO, HCl 가스를 생성하며, 이 가스가 누출될 경우 화재·폭발 및 질식·중독 등의 위험이 있다. 특히, PVC 열분해 시에 발생하는 염화수소 가스는 금속 부식 및 환경적으로 영향을 미칠 수 있고, 수소는 폭발 위험성이 높다.

폐플라스틱의 열분해 과정에서 발생하는 탄화수소 가스 및 수소는 〈표 3〉에 제시된 것처럼 대부분 자연발화점이 500℃ 보다 낮고, 뷰탄과 부텐은 400℃보다 낮다. 자연발화점은 공기 중의 물질이 화염, 불꽃 등의 점화원과 직접적인 접촉 없이 주위로부터 충분한 에너지를 받아서 스스로 점화될 수 있는 최저 온도를 말한다. 지금까지 개발된 열분해 기술은 대부분 300℃ 이상의 온도에서 작동되기 때문에 반응기 내부에 공기나 산소가 유입되면 즉시 폭발·화재로 이어질 위험이 있다.

폐플라스틱 열분해 시 발생하는 열분해 가스의 폭발 하한 범위는 수소 4%, 메탄 5%, 일산화탄소 12.5%를 제외하고는 모두 3% 이하로 나타나 있다(표 3). 폭발하한범위는 가스 등의 공기 중에서 점화원에 의하여 착화되어 화염이 전파되는 가스 등의 최소농도를 말한다. 따라서 열분해가스가 설비 외부로 누출된 상태에서 점화원이 가해지면 화재·폭발이 발생할 위험이 있다.

1) 시스템 이론 기반의 사고 모델 및 분석 절차로 "사회기술시스템" 측면에서 사고원인을 분석하는 방법의 하나라고 볼 수 있음. "사회기술시스템"은 사회시스템과 기술시스템이 별개의 시스템이 아니고 서로 연결되어 상호작용하고 있다는 개념으로 STAMP는 사회기술시스템을 계층(정부, 공공기관, 회사·관리, 회사·운영, 작업자, 공정 및 설비 등)으로 구분하고 각 계층의 구성요소의 문제점 및 구성요소 간의 상호작용 과정에서 발생하는 문제점을 분석할 수 있는 방법

[표2] 폐플라스틱 열분해 설비 화재·폭발 사고 원인

요인 구분	원인요소	세부 내용
기계 및 설비적 요인	공정 및 설비 설계 결함	– 열분해 반응기에서 생성된 열분해가스가 다른 반응기로 이동할 수 있는 이송경로가 형성됨(열분해 반응기 설계 부적정)
	위험물질이 누출될 수 있는 설비 구조	– 열분해 중 반응기 내부의 열분해가스가 외부로 누출 – 열분해 반응기 커버와 본체 접속면을 통해 열분해유 증기가 지속적으로 누출됨 – 원심분리기 시운전 중 열분해유가 다량 누출
	열분해 설비의 안전장치 미흡	– 원료에 포함된 철사, 열분해시 생성되는 코크스(cokes) 등이 열분해가스 및 증기 배출구를 막아 열분해가스가 배출되지 않아 열분해 반응기 내부 압력 상승에 의한 폭발 발생(과압방출장치 미설치) – 인화성 가스 검지 및 경보장치 미설치로 누출된 열분해가스를 인지하지 못함 – 압력게이지 도압관 내부에 코크스가 퇴적되어 압력게이지 지시값 오류 발생(작동 불량) – 인화성물질(열분해가스, 열분해유 등) 취급 장소의 통풍 · 환기 부적정 – 스크류의 끝부분과 머리 부분에 철사가 감김
	열분해 설비 부품의 강도 부족	– 열분해 반응기 전면커버 고정 볼트를 부적절한 방법으로 자체 제작하여 사용함에 따라 볼트 강도 부족
	열분해 설비 설치 건축물 안전 미흡	– 공장 건축물 등을 스티로폼 샌드위치판넬로 설치하여 화재 확산(화학설비 취급 건축물 구조 부적절)
관리적 요인	작업계획 및 작업절차서 미작성 또는 미흡	– 원심분리기(화학설비) 사용(시운전) 전 작업계획 미수립 및 사전안전성 검토 미실시 – 설비 내부 환기조치, 위험물 누출 시 조치사항 등이 포함된 작업절차서 미작성 – 열분해 반응기 운전 시 단계별 운전조건 및 운전범위 이탈 시 조치사항 등을 명확히 작성하지 않음
	위험성평가 및 개선조치 미흡 또는 미실시	– 공정 및 설비의 설계 및 제작 시 위험성 검토 및 안전대책 적용 미흡(가스이송경로 등) – 열분해 반응기 운전 시 발생 가능한 압력상승, 전면커버 이탈, 압력계 전단 코크스 퇴적에 따른 압력 오지시 가능성 미검토
	안전교육 및 안전정보제공 미흡	– 작업자에게 취급물질의 위험성, 안전한 작업방법 등의 교육 미실시 – 인화성액체(열분해유) 및 인화성가스(열분해가스) 취급 근로자에게 산업안전보건법에 따른 특별교육 미실시 – 열분해 반응기 운전시 단계별 운전조건 및 운전범위 이탈시 조치사항 등을 작업자에게 명확하게 교육하지 않음 – 사업장에서 취급·생산 물질(열분해유, 열분해가스 등) 등에 대한 MSDS 미보유 – 작업자에게 취급·생산 물질에 대한 MSDS 등의 안전정보 미제공 및 미게시
	작업 전 안전조치 미흡	– (연료 투입 전) 반응기 내부의 인화성 가스 제거 및 환기조치 미실시 – (가열기 점화 전) 가스밸브 열림 상태 및 가스누출 여부를 확인하지 않고 가스가 누출된 상태에서 점화(환기 미실시) – (폐가스 소각 전) 소각로 내에 폐가스가 누출 또는 잔류되어 있는 상태에서 사전 환기(퍼지) 조치를 하지 않고 점화 – (잔재물 제거 전) 반응기 내부의 열분해 잔재물 제거 전 열분해가스 제거(퍼지) 및 환기 미흡
	부적절한 작업방법 적용	– 위험물(열분해가스 및 잔재물)이 남아 있어 화재·폭발 위험이 있는 열분해 반응기 내부에서 휴대용 연삭기로 철사 절단 – 열분해유 수율을 높이기 위해 국소배기장치의 배기 댐퍼를 닫고 운전하여 작업장 내에 유증기 확산 – 인화성 물질 배출을 위한 통풍, 환기 조치 등 미흡(설비에서 누출된 열분해가스 및 유증기를 선풍기를 이용하여 외부로 배출 등) – 열분해 반응기 가동 후 폐가스 소각로를 가동하지 않고, 폐가스 배관이 닫혀 있는 상태로 운전하여 폐가스가 외부로 유출됨
	설비의 체계적 관리 및 운영 미흡	– 열분해 반응기 설비의 설계도면 및 설계자료 미보유 – 열분해 반응기 내부 압력 측정용 압력게이지 도압관 내부의 주기적 청소 및 부품(압력게이지 등) 교체 등의 관리 미흡
	폭발위험장소 미설정 및 방폭형 전기기계기구 미사용	– 인화성가스(열분해가스), 인화성액체(열분해유) 누출 등으로 인한 폭발 위험 장소를 폭발위험구역으로 설정하여 관리하지 않음. – 화재 · 폭발 위험이 있는 장소에서 방폭형 전기기계기구 미사용
인적 요인	열분해 설비 운영 관련 지식, 기술, 경험 부족	– 열분해 반응기 운전 시 단계별 운전조건 및 운전범위 이탈 시 조치사항 등을 명확히 인지하지 못함 – 작업장소 및 취급물질의 위험성을 인지하지 못함 – 안전 관련 법규에 대한 지식 부족 및 관련 정보 미흡
물질 및 환경적 요인	열분해가스 및 열분해유 누출	– 국소배기장치 댐퍼를 닫고 운전하여 중간 저장조에서 누출된 열분해가스 및 증기가 작업장 내부로 확산되어 폭발위험분위기 형성 – 열분해 반응기에서 열분해가스가 누출되어 폭발위험분위기 형성 – 소각설비 내에 소각용 열분해가스 누출로 폭발위험분위기 형성 – 원심분리기 시운전 중 열분해유가 누출되어 폭발위험분위기 형성

[표 3] 폐플라스틱 열분해가스의 폭발 한계 및 자연발화점

분자식[9]	물질명	CAS No.[12]	폭발 한계 (상한/하한), (V)[12]	자연발화점 (℃) [12]
H_2	수소	1333-74-0	75 / 4	500-571
CH_4	메탄(메테인)	74-82-8	15 / 5	537
C_2H_6	에탄	74-84-0	12.5 / 3	472
C_2H_4	에틸렌	74-85-1	36 / 2.7	490
C_3H_8	프로판(프로페인)	74-98-6	9.5 / 2.1	450
C_3H_6	프로필렌(프로펜)	115-07-1	10.3 / 2.4	460
C_4H_{10}	뷰탄(뷰테인)	106-97-8	8.4 / 1.8	365
C_4H_8	1-부텐	106-98-9	10 / 1.6	385
	2-부텐	107-01-7	9.7 / 1.8	323.9
CO	이산화탄소	630-08-0	74.2 / 12.5	607

2.4.2 열분해유

국내에서는 개정된 폐기물관리법에 따라 폐플라스틱 열분해유를 석유화학제품의 원료물질로 사용하는 경우에는 인화점에 대한 제한이 없다. 그러나 열분해유를 연료유로 사용하는 경우에는 인화점이 30℃ 이상인 경우에만 유통이 가능하다. 현재까지는 석유화학제품의 원료물질로 사용하기보다는 연료유로 사용하는 경우가 많았기 때문에 열분해유의 인화점이 30℃ 이상으로 관리된다고 볼 수 있다. 그러나 화재 사고가 발생한 사업장 2개소에서 폐플라스틱과 폐비닐을 열분해하여 만든 열분해유를 채취하여 인화점 시험장비(Petrotest, TAG4)로 인화점을 측정했을 때 인화점은 30℃ 이하로 측정되었다. 이렇게 인화점이 낮은 열분해유가 상온에서 점화원에 노출되면 화재가 발생할 위험성이 높다.

문헌에 따르면 플라스틱 종류에 따른 열분해유의 인화점은 PS가 26.1~28℃로 가장 낮은 값을 보였다. HDPE와 LDPE 열분해유의 인화점은 40~50℃, PP는 30~36℃ 사이의 범위인 것으로 나타났고, PVC 열분해유의 인화점은 40 ℃를 보였다.

2.4.3 열분해 잔재물

사업장에서 제공받은 열분해 잔재물을 체눈 크기가 600㎛인 체로 거른 시료를 20L의 구형 시험장치(Kühner社, Siwek 20-L)에 500g/㎥의 농도로 부유시킨 상태에서 10kJ의 점화에너지를 가했을 때 약 670kPa의 폭발 압력이 발생하는 것으로 나타나 석탄 분진과 유사한 수준을 보였다. 폐플라스틱의 열분해 반응 완료 후 생성된 고형 물질은 대부분 탄소 함유량이 높기 때문에 분진폭발 위험성이 높다. 따라서 열분해 반응기 내부의 잔재물을 제거할 때에는 잔존해 있는 열분해가스의 화재·폭발 위험성뿐만 아니라 열분해 잔재물의 부유에 따른 분진폭발 위험에도 유의할 필요가 있다.

2.4.4 왁스(Wax)

HDPE(고밀도 폴리에틸렌), LDPE(저밀도 폴리에틸렌), LLDPE(직쇄상 저밀도 폴리에틸렌), PP(폴리프로필렌) 등과 같은 폴리올레핀계 플라스틱을 열분해하여 발생하는 물질 중 탄소수가 큰 성분으로 구성된 물질이 냉각되면 페이스트(Paste) 상태의 왁스(Wax)가 생성된다. 설비 배관을 청소하지 않고 지속적으로 가동시키는 경우 배관에 침착된 왁스가 굳고 점차 두꺼워져 전체적인 설비의 압력을 증가시키는 현상을 초래하게 된다. 심한 경우에는 배관이 막혀 가동 중 폭발의 위험이 있다.

2.4.5 코크(Coke)

코킹(Coking)은 열분해된 탄화수소가 가열된 철이나 니켈이 함유된 반응기 내벽에 접촉해 수소가 분리되고 탄소입자가 반응기 내벽에 침착되면서 코크(Coke)층이 형성되는 현상이다. 코킹현상이 발생하면 지속적으로 코크층의 두께가 두꺼워지면서 반응기 파열의 원인이 될 수도 있다.

2.5 안전관리 방안

사고분석을 통해 나타난 열분해 공정 및 설비 관련 문제점, 관리적 문제점, 폐플라스틱 열분해 시 생성되는 물질의 위험성을 고려하여 폐플라스틱 열분해 공정에서의 화재·폭발 등의 사고를 예방하기 위한 안전관리 방안은 다음과 같다.

2.5.1 관리적 측면의 안전관리 방안

관리적 측면에서는 위험성평가 및 그 결과에 따른 안전조치, 작업절차서 작성 및 준수, 작업 전 안전교육, 주기적 청소, 작업자의 적절한 보호구 착용 등이 중요하다.

사업주는 산업안전보건법에서 정한 규정에 따라 건설물, 기계·기구·설비, 원재료, 가스, 증기, 분진, 근로자의 작업 행동 또는 그 밖의 업무로 인한 유해·위험요인을 찾아내어 부상 및 질병으로 이어질 수 있는 위험성의 크기가 허용 가능한 범위인지를 평가하고, 그 결과에 따라 필요한 조치를 하여야 한다. 그리고 작업절차 및 방법이 상세하게 기술된 작업절차서를 작성하여 작업 시작 전에 작업자에게 작업절차서에 따른 작업절차 및 방법, 비상상황 발생 시 조치사항 등을 충분히 교육 및 숙지시키고 작업을 수행하도록 하여야 한다.

열분해 설비 및 배관 등의 부속설비는 열분해 잔재물, 왁스, 이물질 등으로 막히지 않도록 일정 주기를 정해서 청소하여야 한다. 그리고 열분해설비의 정비·보수작업은 반응기, 배관, 탱크, 열교환기 등 설비 내부의 인화성 물질을 완전히 제거한 후 수행하여야 한다. 정비·보수작업 중 배기나 환기가 원활하지 않아 작업자가 유해물질에 노출될 우려가 있는 경우에는 적절한 보호구를 착용하도록 하여야 한다.

2.5.2 열분해 공정의 안전관리 방안

폐플라스틱 열분해 공정에서의 사고를 예방하기 위해서는 열분해가스 누출, 반응기 내부의 산소농도, 온도, 압력, 기밀유지 등에 주의를 기울여야 한다. 폐플라스틱 열분해 설비는 전체 시스템의 정상적인 작동 압력 및 온도가 보장되도록 하며, 압력 및 온도를 지속적으로 관찰하고 제어할 수 있는 시스템을 구비하여야 한다. 그리고 설비 작동 전에는 전체 생산 공정이 완전히 밀봉되고 가스 누출이 없는지 확인하기 위해 설비 가동 전

기밀 테스트를 수행하여야 한다. 인화성 가스 누출 가능성이 있는 지역에는 가스 검지기 및 경보장치와 화재감지시스템, 자동 소화장치와 소화기를 설치하고, 정상 작동여부를 확인한다. 가열기, 열분해 반응기, 소각로 등 인화성 가스의 누출로 인한 폭발 위험성이 큰 설비에 대해서는 가스 누출 가능 지역을 폭발위험장소로 설정하고, 전기설비를 해당 가스에 대해 방폭성능을 가진 구조로 하여야 한다. 주요 공정별 안전관리 방안은 다음과 같다.

1) 가열기 점화 및 가열

가열기를 점화하기 전에는 축적된 잔류 가스를 제거할 수 있도록 연소실 등 가열기 내부를 충분히 환기시켜야 한다. 점화에 실패한 경우에는 연료 공급을 차단하고, 환기 후 다시 점화하여야 한다. 그리고 가열기에는 화염감지기를 설치하여 화염의 유무를 검출하고, 연료를 연소시키는데 필요한 화염이 감지되지 않을 경우 가스 공급을 자동으로 차단하는 장치를 설치하여야 한다. 또한, 열분해 반응기 내의 이상 온도 상승, 전기 공급 중단, 화염 감지기(Flame Detector) 미작동 등 이상 상황 발생 시 자동으로 연료의 공급을 차단할 수 있는 긴급차단밸브를 설치하여야 한다.

2) 열분해

열분해 반응기 내부로의 산소 유입 등 비상상황 발생 시 열원 긴급 차단 및 설비의 비상정지가 가능하도록 하여야 한다. 열분해 반응기는 열분해가스의 누설 또는 반응기 내부로의 공기 유입 차단이 매우 중요하므로 열분해 반응기 회전부 밀봉 부분의 기밀 상태를 주기적으로 점검하여야 한다. 그리고 열분해 잔재물, 왁스, 이물질 등에 의해 열분해가스 배출 배관이 막히지 않도록 주기적으로 관리(청소)하여 열분해 반응기 내부의 열분해가스가 지속적으로 배출되도록 하여야 한다.

열분해 반응기 및 부품은 최대운전 온도에서의 열팽창에 의한 응력을 충분히 견딜 수 있도록 설계·제작되어야 한다. 그리고 열분해 반응기 내부의 온도를 측정할 수 있는 장치와 열분해 반응기의 과열 경보장치를 설치하고 지속적으로 모니터링 하여야 한다. 또한, 열분해 반응기 내부의 압력을 수시로 측정할 수 있는 장치와 열분해 과정에서의 비이상적인 급격한 압력 상승을 해소할 수 있는 안전밸브 또는 파열판을 설치하고, 안전밸브로 가스 배출 시 배관 등을 통해 안전한 지역으로 방출되도록 하여야 한다.

3) 열분해 잔재물 제거

반응 완료 후 반응기 내부의 잔재물 제거 작업을 위해 반응기 투입구를 개방하기 전에 작업자가 열분해 반응기 내부에 축적된 잔류 가스를 제거할 수 있도록 자동 배기 및 질소 등을 이용한 퍼지 시스템을 설치하고 이를 이용하여 열분해 반응기 내부의 인화성 가스를 제거한 후 작업을 시작하도록 하여야 한다.

작업자가 열분해 반응기 내부에 진입하는 경우에는 반응기 온도, 잔류가스 제거 여부, 일산화탄소 및 이산화탄소 농도 등을 확인하여 안전한 온도 및 농도임을 확인한 후 진입한다. 열분해 반응기 내부에서 작업을 수행하는 경우 불꽃 등의 점화원이 발생하지 않도록 방폭공구를 사용하고, 휴대용 연삭기 등의 화기 사용을 금지하여야 한다.

4) 비응축성 열분해가스 소각

비응축성 가스 소각용 연소 장치를 점화하기 전에는 축적된 잔류 가스를 제거할 수 있도록 연소실 등 가스소각설비 내부를 충분히 환기시켜야 한다. 그리고 가스 소각 설비에는 비응축성 열분해가스를 태우는데 필요한 화염이 감지되지 않을 경우 가스 공급을 자동으로 차단하는 장치를 설치하여야 한다. 또한, 연소 장치의 이상 연소 방지를 위하여 항상 불꽃이 꺼지지 않도록 파일럿 버너를 설치하고, 자동 점화 설비를 설치할 필요가 있다. 보조연료로 기체 또는 액체연료를 사용하는 경우 연소용 공기 공급팬 또는 배기팬이 작동하지 않으면 보조연료가 공급되지 않도록 연동되어야 한다.

5) 기타

응축기 및 각종 배관에 왁스가 퇴적되지 않도록 주기적으로 배관을 청소할 필요가 있으며, 열분해 반응기 내벽에 퇴적된 코크스도 주기적으로 제거하여야 한다. 또한, 화학공정 설비의 운전 및 작업에 관한 안전관리 기술지침 등의 관련 지침을 준수하여 증류 공정 등의 안전을 확보할 필요가 있다.

III. 결론 및 정책제언

폐플라스틱 열분해 공정에서의 사고를 예방하기 위해서는 제도적으로 설비의 설계 및 제작·설치단계부터 안전성을 확보하고 설비를 체계적으로 운영하도록 안내하고 지원할 필요가 있다. 관리적으로는 위험성평가 및 그 결과에 따른 안전조치, 작업절차서 작성 및 준수, 안전교육, 주기적 청소 등의 수행이 필요한 것으로 나타났고, 열분해 공정에서는 열분해 가스의 누출 방지 및 기밀 유지, 각종 계측 제어 시스템 및 안전장치 설치, 폭발위험장소 설정 및 방폭형 기계·기구 사용 등이 필요한 것으로 나타났다. 그러나 폐플라스틱 열분해 설비에 필요한 안전장치 및 그 부착방법과 기준이 명확하게 제시되어 있지 않으므로 이와 관련된 연구와 사업장 지원방안 마련이 필요할 것으로 판단된다.

법적으로는 폐기물관리법 시행규칙이 개정되면서 폐플라스틱 열분해 설비의 설치 및 검사기준이 제시되었고, 산업안전보건법에 따라 폐플라스틱 열분해 사업장에서 하루 5,000kg 이상의 열분해유를 생산할 수 있는 설비를 보유하면 공정안전보고서, 열분해유의 하루 생산량이 1,000L를 넘으면 유해·위험방지계획서 작성 및 제출 대상이 될 수 있다. 그리고 대부분의 폐플라스틱 열분해 설비는 위험물안전관리법의 적용 대상이다. 따라서 폐플라스틱 열분해 시설과 관련된 정부 및 그 산하기관에서는 폐플라스틱 열분해 설비를 위의 관련 규정에 적합하게 설계 및 제작·설치하여 운영하도록 안내하고 지원할 필요가 있으며, 폐플라스틱 열분해 사업장의 등록 업종을 통일화하는 방안을 마련하여 시행할 필요가 있다.

참고문헌

- Czajczynska D., Nannou T., Anguilano L., Krzyzyńska R., Ghazal H., Spencer N., Jouhara H., 2017, Potentials of pyrolysis processes in the waste management sector, Energy Procedia, 123, pp. 387-394.
- Miandad R., Barakat M.A., Aburiazaiza Asad S., Rehan M., Nizami A.S., 2016, Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review, Process Saf. Environ., 102, pp. 822-838.
- BASF, 2023, "Life cycle assessment(LCA) for ChemCycling". https://www.basf.com.
- Quantis, 2020, Chemical Recycling: Greenhouse gas emission reduction potential of an emerging waste management route, cefic.
- MOE (Ministry of Environment), 2021, Waste plastic pyrolysis reactor circular economy, Carbon neutrality leading (press release).
- MOE (Ministry of Environment), 2020, Establishment of plastic lifecycle reduction and recycling measures (press release).
- Cho JH, Shin DW, Kim YH, 2022, Waste plastic pyrolysis promotion conditions and policy tasks, Korea Environment Institute.
- MOEL(Ministry of Employment and Labor), 2022, Analysis of Occupational accident status in 2021.
- Gebre S. H., Sendeku M. G., Bahri M., 2021, Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics, ChemistryOpen 10, pp. 1202-1226, doi.org/10.1002/open.202100184.
- Han OS, Lee JS, Seo DH, Oh SH, Park HJ, 2019, Fire and explosion risk assessment of sub-bituminous coal dust for thermal power generation, OSHRI KOSHA.
- KOSHA (Korea Occupational Safety and Health Agency), 2022, Technical Guidelines for Determining Explosiveness of Mixed Gases and Calculating Lower Explosive Limits(KOSHA Guide P-179-2022).
- KOSHA MSDS webpage, 2022, https://msds.kosha.or.kr.
- Eze W. U., Umunakwe R., Obasi H. C., Ugbaja I. M., Uche C. C., Madufor I. C. 2021, Plastics waste management: A review of pyrolysis technology, Clean Technologies and Recycling, 1(1), pp. 50-69, DOI: 10.3934/ctr.2021003
- Shin DH, Nho NS, Kim SS, Kim KH, Jeon SG, 2010, A review on R&D and commercialization of oil recovery from waste plastics by pyrolysis, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, 19(1), 3-12.
- Arabiourrutia M., Elordi G., Lopez G., Borsella E., Bilbao J., Olazar M., 2012, Characterization of the waxes obtained by the pyrolysis of polyolefin plastics in a conical spouted bed reactor. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. Vol. 94, pp. 230-237.
- UOS (University of Seoul), 2010, An impact separator for removing wax produced in the pyrolysis process, Registered patent publication at the Korean Intellectual Property Office, KR Patent No. 10-0994244, November 8, 2010.
- Ecocreation, 2022, "Pyrolysis Oil Wax", http://ecocreation-in.com/technic-article-2/?pageid=2&mod=document=36.
- KUNEWS (Korea University News Paper), 2007, "Catch valuable trash in the era of high oil prices. Pyrolysis oil technology, extracting fuel oil from waste, is very useful", http://www.kunews.ac.kr/news/articleView.html?idxno=9878.
- Shin DH, Kim DC, Nho NS, Lee KW, Woo JK, Kim KH, Jeon SG, 2006, A process development of continuous liquefaction of polymer wastes, KIER(Korea Institute of Energy Research)

폐플라스틱 열분해 유화 공정 및 생성물질의 위험성

OSH RI: VIEW

04

Now

01. 연구원 Zip中(집중) 교육 추진

02. 한국산업보건학회 하계학술대회 참가 및 연구원장 감사패 수상

03. 4대폭력예방·행동강령 교육 실시

04. VNNIOSH와 공동연구 추진

Now는 산업안전보건연구원
동정 및 현안을 전달합니다.

연구원 집중교육

연구원 Zip中(집중) 교육 추진

산업안전보건연구원(이하 연구원)은 연구에 필요한 지식과 정보습득의 기회를 제공, 연구성과를 높이고 전문성 향상에 기여하고자 마련하고자 〈연구원 Zip中(집중) 교육〉을 9월 4일부터 5일까지 진행하였다.

이번 교육은 'IT트렌드를 반영한 연구데이터 분석 및 보고서 작성' 과정으로 ▲ChatGPT를 활용한 데이터 분석 및 처리 실무 ▲비주얼 커뮤니케이션 기반의 문서 작성에 대한 내용으로 개설되었다. 총 16시간 동안 이틀에 걸쳐 진행된 집중 교육은 최근 AI를 활용한 업무 수행에 대한 요구가 높아지고 있는 만큼 개설 과정에부터 큰 관심을 모았다. 무엇보다 두 과정 모두 실습 시간을 포함하고 있어 직원들의 만족도가 높았다.

특히 '비주얼 커뮤니케이션~' 강의는 인포그래픽 제작법뿐만 아니라 데이터 가독성을 높일 수 있는 보고서 작성 기법도 배울 수 있어 좋은 평가를 받았다.

앞으로도 연구원은 연구 및 업무 방식의 최신화를 위하여 시의성 있는 교육을 마련해나가는 동시에 직원들의 니즈를 만족 시킬 수 있는 효과성 높은 교육을 계획할 방침이다.

연구원장 감사패 수상

산업보건학회 참가

한국산업보건학회 하계학술대회 참가 및 연구원장 감사패 수상

산업안전보건연구원(이하 연구원)은 산업보건위생 분야의 연구결과 및 성과를 전파하고 최신 연구동향 파악하여 연구 활성화를 도모하고자 한국산업보건학회에 참가하였다. 한국산업보건학회는 '산업보건 태동산업에 대한 성찰과 미래 모색'을 주제로 지난 8월 30일부터 9월 1일까지 3일에 걸쳐 강원도 정선에서 진행되었다.

하계학술대회에서 우리 연구원은 2개의 라운드테이블(▲근로자 건강진단 생물학적 노출평가 의의와 발전방향, ▲작업환경측정 DB 현황과 활용)을 개설하였으며, '결정형 산화규소 중 석영 분석을 위한 시약 비교'(직업환경연구실 황은송 과장)등의 구연발표 2건과 '이차전지 산업 근로자의 호흡기계 자각증상 분석'(직업건강연구실 원용림 연구위원) 등 17편의 포스터 발표에 참가하였다. 또한, '화학적·생물학적인자'에 대한 PDC(직업환경연구실 박현희 선임연구위원), '영국 사업장 화학물질 위험성 평가의 법적 내용과 그 의미'(산업화학연구실 이나루 실장)를 주제로 한 토론회에 참가하여 해당 분야의 심도있는 발표와 토론을 진행하였다.

이번 학회에서는 김은아 연구원장이 산업보건분야의 연구활성화에 대한 공로를 인정받아 감사패를 수여받았으며 이광용 연구위원이 '휘발성 유기화합물용 수동식 시료채취기 개발'으로 백남원 학술상을 수상하여 연구원의 위상을 높였다.

앞으로도 연구원은 다양한 연구 분야의 학회를 지식을 고양시키는 기회로 삼고 산업재해를 예방할 수 있는 연구주제를 학회참가를 통해 모색해나가도록 하겠습니다.

4대폭력예방·행동강령 교육 실시

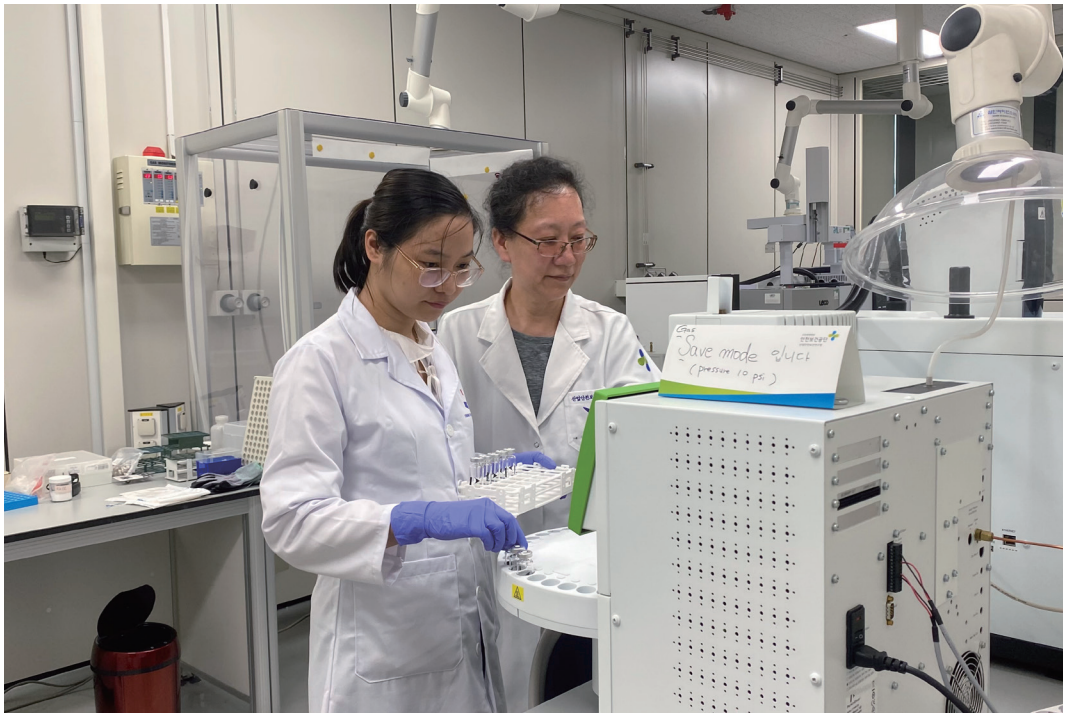
4대폭력예방·행동강령 교육 실시

산업안전보건연구원은 9월 11일 대전 연구원 1층 세미나실에서 각 실·센터장을 포함한 대전 연구원 직원을 대상으로 4대 폭력(성희롱 · 성매매 · 성폭력 · 가정폭력)예방 및 행동강령 교육을 진행하였다.

4대 폭력예방 교육은 해마다 전 공직자를 대상으로 진행되는 법정의무교육으로 성희롱·성폭력 예방을 강화하고 성인지 감수성을 제고하고자 마련되었다. 같은 날 진행된 행동강령교육은 청렴강조주간을 맞아 조직생활에서 꼭 지켜야할 기본적인 수칙을 위주로 교육하여 직장 내 갑질 및 괴롭힘에 대한 직원들의 경각심을 고취시킬 수 있는 내용으로 구성되었다.

올해는 보다 전문적이고 체계적인 강의를 위하여 젠더교차연구소의 전진희 소장을 초빙하였으며 우리 직원들이 경각심을 가질 수 있는 사례를 위주로 효과성 높은 강의를 추진하고자 하였다.

산업안전보건연구원 김은아 연구원장은 “향후에도 건전한 조직문화가 정착시키기 위한 교육을 통해 지속적으로 노력을 기울여 나가겠다”고 밝혔다.



분석실험 중인 통 티 응안 연구위원(왼쪽)과 이미영 선임연구위원

VNNIOSH와 공동연구 추진

산업안전보건연구원은 베트남 국립 산업안전보건연구원(VNNIOSH, Viet Nam National Institute of Occupational Safety and Health)과 공동연구를 추진한다.

공단은 2012년부터 베트남 산업안전보건연구원(이하 VNNIOSH)과 기술협정을 체결하여 상호간 산업안전보건 발전과 개선을 위한 협력을 지속중이다. 산업안전보건연구원(이하 연구원)은 올해 전문 VNNOSH의 분석 전문가인 통 티 응안 연구위원을 파견받아 톨루엔의 생물학적 노출평가 지표인 소변 중 오르쏘-크레졸 분석법을 최적화하기 위해 공동연구를 수행하고 있다. 이 분석법은 가스크로마토그라피 질량분석(HS GC-MSD) 조건의 최적화를 통해 구현하는 것으로 시료 처리 시간을 획기적으로 줄인 최신 분석법이다.

이 밖에도 연구원은 대상국과의 공동연구추진을 통하여 분석정도관리, 생물학적 지표 분석, 직업건강연구 방법 등 산업보건 기술을 공유할 예정이며, 앞으로도 상호국의 산업안전보건 발전을 위하여 협력해 나갈 예정이다.

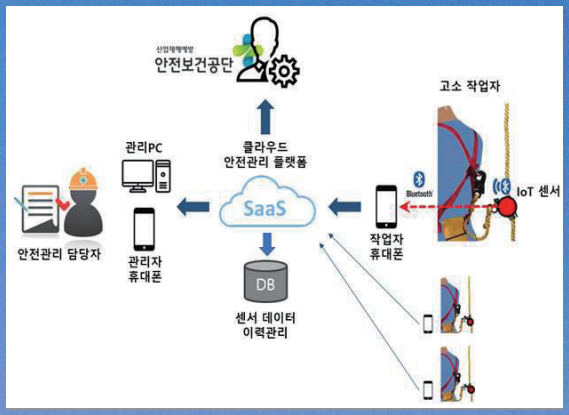
IOT를 활용하여 작업자의 안전을 실시간 모니터링 하는 스마트 추락방지대

건설현장의 마감공정과 완공된 건물 외부의 유지보수나 청소를 할 때 많이 활용되는 비계가 있습니다. 바로 달비계(Boatswain's Chair)입니다. 신축 현장에는 곤돌라 형태의 달비계를 사용하고 있으나 기존 건축물의 유지보수에는 로프에 작업의자(젠다이)를 부착하는 방식의 달비계를 사용하는 만큼 추락사고의 위험이 상대적으로 높고 이는 사망사고로 이어지는 경우가 많았습니다. 이를 구체적으로 살펴보면, 2011년에서 2020년 사이에 달비계에서 발생한 떨어짐 사고사망자는 155명 중 151명(97.4%)으로 수직구명줄을 설치하지 않은 상태로 나타났습니다. 그리고 실태조사 시 추락방지대 사용의 불편함에서 비롯된 것으로 파악된 바, 이를 개선하기 위한 'IOT를 활용한 달비계 작업 안전 기술 개선 연구'를 통해 '스마트 추락방지대'를 개발하게 되었습니다.

[그림1] 기존의 안전대 및 추락방지대

소규모 공사현장의 경우, 관리감독자가 달비계 작업자의 추락방지대 체결 유·무를 확인할 수 있으나 규모가 큰 현장에서 관리감독자가 일일이 확인하는 것에는 애로사항이 있습니다. 따라서 IOT기술을 이용하여 관리감독자가 한 눈에 추락방지대 체결 유·무를 모니터링하는 시스템을 구축하고자 하였습니다.

추후 구축될 실시간 모니터링 시스템에서는 현장별로 연결된 스마트 추락방지대의 체결 상태 모니터링이 가능할 것입니다. 또한, 추락방지대의 체결 방향은 제동력과 직결되므로 올바른 체결 방향이 매우 중요하여 역방향 체결이 될 경우 경고음이 발생하도록 설계되었습니다. 더불어 부품 최적화를 통해 기존의 제품 대비 50% 이상 경량화를 이루었습니다.



[그림2] 실시간 모니터링 시스템 개념도

스마트 추락방지대가 보급된 현장에서 작업자는 ①작업자 안전관리 앱을 다운로드하여 작업자 정보를 입력하고 ②해당 앱으로 추락방지대의 IOT센서를 인식합니다. 이후 현장의 안전관리 담당자는 ③안전관리플랫폼에서 클라우드 안전관리를 통해 안전관리 담당자의 휴대폰에서 실시간으로 모니터링 할 수 있으며, 본사 안전관리 담당자는 클라우드 안전관리 플랫폼에서 전국 현장의 안전관리 현황을 실시간으로 모니터링 할 수 있습니다.

숏인터뷰

산업안전보건연구원
산업안전연구실
강성윤 과장

경량화된 스마트 추락방지대는 향후 생산 및 보급을 통해 달비계 작업자의 추락 사고를 예방할 수 있을 것입니다. 기존 달비계 작업자들이 육안으로 체결 유·무를 확인하는 한계에서 벗어나 통합시스템의 실시간 사용현황을 파악할 수 있기 때문에 향후 작업자의 작업 효율과 안전성을 크게 높일 수 있을 것으로 기대합니다.

MEMO

ISSN 2799-6166

독자 의견 설문조사

원고 모집 안내

표지
사용 후 고지(재생지)
30%를 함유한
인스퍼에코 222g/㎡

내지
사용 후 고지(재생지)
30%를 함유한
인스퍼에코 112g/㎡

환경보호를 위해
친환경용지를
사용하였습니다.

친환경
환경부