

## 황산의 발암성에 대한 고찰 및 관리방안

정수진 · 권수현 · 이나루\*

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

## A Review of the Carcinogenicity of Sulfuric Acid and Its Management Strategies

Sujin Jeong · Suhyun Kwon · Naroo Lee\*

*Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI),  
Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA)*

### ABSTRACT

**Objectives:** Sulfuric acid (CAS RN. 7664-93-9) is widely used in industrial settings due to its strong acidity and high reactivity, but its health hazards—particularly in mist form—are well-documented. This study aims to evaluate inconsistencies in domestic regulations and argues for regulatory revisions that reflect the carcinogenicity of strong inorganic acid mists as defined by the IARC Monograph Volume 100F (2012) by distinguishing mist from liquid forms of sulfuric acid in both classification and occupational exposure limits.

**Methods:** We analyzed regulatory frameworks from South Korea and international organizations including the IARC, NTP, ACGIH, ECHA, and NITE. Comparative analysis was conducted on carcinogenic classifications, exposure limits, and physical state-specific regulations. Domestic laws and administrative notices from the Ministry of Employment and Labor and the Ministry of Environment were also reviewed to identify internal discrepancies.


**Results:** The findings show that international agencies such as the IARC and NTP—as well as ACGIH, which classifies such mists as suspected human carcinogens—consider only strong inorganic acid mists containing sulfuric acid to pose carcinogenic risks. In contrast, agencies such as the ECHA and NITE do not classify sulfuric acid as carcinogenic, citing insufficient data. Despite this, South Korea applies uniform regulatory standards to both mist and liquid forms of sulfuric acid without incorporating the IARC's 2012 distinction of strong inorganic acid mists as Group 1 carcinogens, thereby creating scientific ambiguity and enforcement challenges. Domestic regulations exhibit internal contradictions: while sulfuric acid is designated as a specially controlled substance under the Industrial Safety and Health Act, other regulations classify only the mist as carcinogenic. Exposure limits also vary widely—the TWA in South Korea is 0.2 mg/m<sup>3</sup>, whereas the EU and UK limits are 0.05 mg/m<sup>3</sup>.


**Conclusions:** Regulatory revisions should explicitly adopt the IARC 2012 definition that classifies strong inorganic acid mists—including sulfuric acid mist—as carcinogenic, thereby clarifying the scope of carcinogenicity by distinguishing mist and liquid forms. Domestic exposure limits should also be aligned with international standards to enhance scientific validity and policy consistency. A unified and scientifically grounded regulatory framework is essential to ensure effective implementation and protection of worker health.

**Key words:** carcinogenic classification, IARC monograph, occupational exposure limits, strong inorganic acid mist, Sulfuric acid

\*Corresponding author: Naroo Lee, Tel: 042-869-0351, E-mail: [naroollee@kosha.or.kr](mailto:naroollee@kosha.or.kr)  
400, Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan, 44429, Republic of Korea

Received: August 29, 2025 Revised: September 26, 2025, Accepted: September 29, 2025

 Su Jin Jeong <https://orcid.org/0000-0001-9476-9969>

 Suhyun Kwon <http://orcid.org/0000-0002-3681-1660>

 Naroo Lee <http://orcid.org/0000-0003-1483-6928>

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

## I. 서 론

### 1. 연구 배경 및 필요성

황산(Sulfuric acid or Sulphuric acid, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CAS No. 7664-93-9)은 무색, 무취의 점성이 높은 액체로, 상온에서 밀도는 약 1.8 g/cm<sup>3</sup>, 녹는점은 약 10℃, 끓는점은 약 340℃이다. 물과 반응하면 극발열성 반응을 일으키며 특히 농황산<sup>1)</sup>은 고온에서 산화력이 크게 증가하여 특정 금속이나 비금속을 산화시킬 수 있다. 더불어, 강한 흡습성과 탈수작용을 지니고 있어 산화제, 탈수제, 촉매 등으로 광범위하게 활용된다. 그뿐만 아니라 유기물의 수분을 효과적으로 제거하는 능력이 탁월하여 화학적 반응성이 높은 물질로 분류된다.

최근 반도체, 디스플레이, 2차전지 등 첨단 전자산업의 급속한 성장에 따라 세정, 금속 표면 처리 등의 공정에서 황산의 사용량이 크게 증가하고 있다(Son et al., 2022). 2019년 제6차 작업환경실태조사에 따르면 국내에서 황산을 취급하는 사업장은 3,282개, 취급 업종은 327개에 이르며 도금업, 도장 및 기타 피막 처리업, 인쇄회로기판용 적층판 제조업, 기타 기초 무기화학 물질 제조업, 완제 의약품 제조업 등이 주요 사용 업종으로 파악되었다. 공정별로는 기타 표면처리, 도금, 실험 연구, 세척제거, 혼합, 반응, 도장도포, 거사, 투입, 구조주물, 전기전자, 연마 등 다양한 작업에서 황산이 사용되고 있으며, 주요 용도는 표면처리제, pH 조절제, 전기도금제, 세제 살균, 소독제, 세정제, 탈지제, 실험 시약, 연화제 경화촉진제, 산화제, 안정제, 노화방지제, 전자공업재료(반도체), 폐수처리 등이다(Park et al., 2023).

황산은 강한 산성 및 반응성으로 인해서 산업현장에서 유용하게 사용되는 반면, 인체에는 다양한 유해성을 일으킬 수 있다. 주요 노출 경로는 호흡기계를 통한 미스트 흡입이며 황산은 낮은 휘발성과 강한 친수성으로 인해 공기 중 수분과 결합하여 미스트 또는 에어로졸 형태로 존재하게 된다(IARC, 1992). 입자의 크기는 습도에 따라 가변적이다. 일반적으로 황산 에어로졸의 입자 지름은 0.3~0.6 μm, 황산 미스트의 지름은 10~15 μm으로 보고되며, 입자 크기에 따라 호흡기 내 침착 부위가 달라진다. 흡입 시 큰 입자(지름 10~15 μm)는 주로 비강에 침착되며 작은 입자(지름 1~10 μm)는 후두, 기도, 기관지 등과 같이 호흡기계의 더 깊은 곳에 침착될 수 있다(EC, 2012).

황산의 급성 노출은 인체에 피부 화상, 안구 손상, 구강 식도 위장 점막 손상, 호흡기 자극 등을 유발할 수 있으며 공기 중 저농도의 황산 미스트조차도 흡입 시 호흡 불편을 초래할 수 있다. 그리고 황산의 반복적이거나 장기적인 노출은 호흡기 점막의 만성 자극, 치아 부식을 유발할 수 있으며 섬모 기능 저하 등에 의해 체내로 유입된 기타 유해 입자의 배출 능력도 약화될 수 있다. 특히 아동, 천식 환자와 같은 민감군은 저농도에도 과민반응을 보일 수 있으며 이로 인해 직업성 질환의 발생 위험이 증가할 수 있다(ATSDR, 1998). 삼산화황(SO<sub>3</sub>)의 경우에도 상기도 내에서 황산으로 전환되며 유사한 호흡기계 자극 반응을 일으킨다(ATSDR, 1998). 반면, 황산은 극성 물질로 피부장벽을 쉽게 통과하지는 않으며 피부 흡수에 의한 전신 노출 가능성은 낮은 것으로 평가된다(EC, 2012). 그러나 피부 또는 점막과 직접 접촉할 경우 강한 부식성으로 인해 심각한 화학 화상을 유발할 수 있다(ATSDR, 1998).

황산의 발암성과 관련하여, 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 1992년 발간한 모노그래프 제54호(IARC Monograph Vol. 54)에서 황산을 함유한 강무기산 미스트(strong inorganic acid mists containing sulfuric acid)에 대한 직업적 노출이 인체 발암성과 관련된 충분한 역학적 증거를 갖는다고 판단하여 Group 1(carcinogenic to humans)으로 분류하였다. 이 분류는 황산 자체가 아닌 미스트 형태의 흡입 노출에만 적용되며, 액상의 황산은 발암성 평가 대상에 포함되지 않는다(IARC, 1992). 이후 2012년 발표된 모노그래프 제100F호(IARC Monograph Vol. 100F)에서는 이러한 정의를 확대하여, 황산의 포함 여부와 관계없이 강무기산 미스트 전반(strong inorganic acid mists in general)을 발암물질로 간주하였다(IARC, 2012).

그러나 현재 국내 산업안전보건법상 황산은 pH 2.0 이하일 경우 물리적 형태와 관계없이 특별관리물질로 지정된다(MoEL, 2024). 이로 인해 산업현장에서는 액상을 포함한 모든 황산을 발암물질로 간주하여 「산업안전보건기준에 관한 규칙」 제439조와 제440조에 따라 근로자 고지 및 작업환경관리 기준을 적용하고 있다. 그러나 이러한 규제 해석은 국제 기준과 상충될 수 있으며, 산업계 일각에서는 과도한 규제가 산업현장의 실무혼선 및 자원낭비로 이어질 수 있다는 우려를 제기하고 있다.

1) 황산의 함유량이 90% 이상인 용액

IARC의 사례처럼 화학물질의 물리적 형태를 기준으로 발암성을 구분하는 방식은 매우 이례적이다. 또한, 노출 경로에 따라 발암성을 달리 판단하였더라도 물질의 물리적 형태에 따라 발암성 분류를 분리하는 경우도 드물다. 이에 따라 황산의 형태별 유해성 차이에 대한 과학적 근거가 무엇인지 체계적으로 검토하고, 국내 규제의 적용범위에 있어 국제 기준과의 정합성을 확보할 필요가 있다.

본 연구는 황산의 발암성 분류에 있어 IARC가 채택한 '형태기반 접근법(form-based classification)'의 이례성을 분석하고, 황산의 물리적 형태별 유해성 차이에 대한 과학적 근거를 검토함으로써 국내 규제의 과학적 타당성과 국제적 정합성을 평가하고자 한다. 그리고 이를 바탕으로 향후 황산에 대한 국내 규제의 정밀성과 일관성을 제고하기 위한 개선 방향을 제시하는 것이 목적이다.

## II. 연구방법

본 연구는 황산에 대한 국내 산업안전보건법 및 환경부 법령의 규제를 분석하고, 국외 주요기관의 발암성 분류와 노출기준을 비교함으로써 황산의 물리적 형태에 따른 유해성 차이를 고려한 국내 규제의 과학적 정합성을 검토하고자 하였다.

### 1. 국내 산업안전보건법 및 환경부 법령의 현황 및 규제 방식 분석

먼저, 국내 규제체계를 분석하기 위해 고용노동부 소관 법령인 「산업안전보건법」, 「산업안전보건기준에 관한 규칙」, 「화학물질 및 물리적 인자의 노출기준」(고용노동부 고시)을 검토하였다. 또한 환경부 소관 법령인 「화학물질관리법」과 「화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률」의 관련 조항도 함께 분석하였다. 이를 통해 각 법령에서 황산이 발암물질로 분류되고 있는지 여부, 해당 분류의 과학적 근거 또는 인용 기준, 발암성 적용 시 황산의 물리적 형태에 대한 구분, 노출기준 설정근거 및 입자 크기에 관한 기준 설정 여부 등을 확인하였다. 아울러 황산에 대한 법령 간, 법령 내, 고시 간에 규제 내용이 동일한지 여부에 대해서도 검토하였다. 이와 같은 검토를 통해서 황산의 형태별 유해성 인식이 국내 법령 내에서 일관되게 반영되었는지

확인하고, 법령해석과 산업현장 적용 과정에서 혼선 발생 가능성을 살펴보았다.

### 2. 국외 주요 기관의 발암성 분류 및 노출기준 비교

다음으로, 황산에 대한 국제 기관들의 발암성 분류와 직업적 노출기준 설정 방식 및 과학적 근거를 비교·분석하였다. 본 연구에서 검토한 주요 기관은 IARC, 미국 국립독성학프로그램(National Toxicology Program, NTP), 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA), 미국 캘리포니아주 산업안전보건청(California Division of Occupational Safety and Health, Cal/OSHA), 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH), 미국 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH), 독일연구재단(Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG), 유럽화학물질청(European Chemicals Agency, ECHA), 유럽연합 집행위원회(European Commission, EC), 유럽연합 직업적 노출기준 과학위원회(Scientific Committee on Occupational Exposure Limits, SCOEL), 영국 보건안보청(UK Health Security Agency), 영국 산업안전보건청(UK Health and Safety Executive, UK HSE), 일본 국립기술평가원(National Institute of Technology and Evaluation, NITE), 일본 산업위생학회(Japan Society for Occupational Health, JSOH), 경제협력개발기구(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)이다.

각 기관의 공식 웹사이트 및 발간 자료를 바탕으로, 황산의 발암성 분류 등급(Group 1, A2, Kategorie 4 등), 분류 시 황산의 물리적 형태를 구분하여 적용하였는지 여부, 직업적 노출기준(Time Weighted Average, Short Term Exposure Limit, Ceiling 등)의 설정 근거와 노출기준 값, 입자 크기 기준(thoracic fraction, inhalable fraction 등)의 적용 여부, 노출기준 설정에 활용된 역학 자료 또는 동물실험 결과의 신뢰도와 한계 인식 등을 종합적으로 검토하였다. 아울러 각국 기관들이 IARC의 1992년 및 2012년 모노그래프 분류를 어떻게 수용하거나 보완적으로 해석하고 있는지에 대해서도 함께 분석하였다.

### III. 연구결과

#### 1. 산업안전보건법상 황산 관련 규제 현황

「산업안전보건법」은 유해물질로 인한 근로자의 건강장해를 예방하기 위해 유해인자를 제39조(보건조치)에 따라 유해인자를 목록화하고 법령체계 내에서 다층적으로 규제하고 있다. 황산은 이 법령 내에서 다양한 범주로 지정되어 있으며 ‘작업환경측정 대상 유해인자’, ‘특수건강진단 대상 유해인자’, ‘허용기준 이하 유지 대상 유해인자’, ‘공정안전보고서 제출 대상 유해 위험물질’, ‘노출기준 설정 물질’ 등으로 관리되고 있다. 특히 pH 2.0 이하의 강산(strong acid)에 해당하는 황산은 「산업안전보건기준에 관한 규칙」 제420조에 따라 ‘특별관리물질’로 지정된다(Table 1). 특별관리물질<sup>2)</sup>은 발암성, 생식세포 변이원성, 생식독성 등의 유해성을 가진 물질에 해당하며, 해당 물질을 사용하는 사업주는 고지 및 관리의무<sup>3)</sup>를 이행해야 한다.

그러나 황산의 발암성 분류 방식은 법령과 고시 간에 해석 차이가 존재한다. 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서는 황산의 물리적 형태를 구분하지 않고 특별관리물질로 규정하고 있어, 현장에서는 액상 황산 또한 발암물질로 간주될 수 있는 해석 여지가 존재한다(MoEL, 2024). 반면, 고용노동부 고시 제2020-48호「화학물질 및 물리적 인자의 노출기준」의 ‘723번: 황산’ 항목에는 황산 미스트에 한해 발암성 구분 1A(사람에게 충분한 발암성 증

거가 있는 물질)로 판단된다고 명시되어 있다<sup>4)</sup>(MoEL, 2020). 즉, 동일한 물질에 대해 고시와 규칙 간 발암성 적용 범위가 상이하게 표현되어 있어 규제의 명확성과 현장 적용의 일관성에 한계가 존재함을 시사한다.

노출기준 측면에서는 현재 황산의 8시간 시간가중노출기준(Time-Weighted Average, TWA)은 0.2 mg/m<sup>3</sup>, 단기노출기준(Short-Term Exposure Limit, STEL)은 0.6 mg/m<sup>3</sup>로 설정되어 있으며, 두 기준 모두 흉곽성 입자 기준(thoracic fraction)에 기반하고 있다.

#### 2. 환경부 소관 법령의 황산 관련 규제 현황

황산은 「화학물질관리법」에 따라 ‘기준화학물질’로 등록되어 있으며 ‘유독물질’과 ‘사고대비물질’로도 지정되어 있다. 또한 「화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률」에 따라 ‘중점관리물질’로도 관리되고 있다. 환경부 고시 제2022-79호「중점관리물질의 지정」의 별표에 따르면 황산은 제258번 물질로, ‘CMR’ 문구가 표기되어 있다. 이를 통해 황산이 환경부에 의해 ‘사람 또는 동물에게 발암성, 생식세포 변이원성, 생식독성 중 하나 이상의 유해성을 가지는 물질’로 판단되었음을 알 수 있다.

그러나 고시에 중점관리물질 지정의 과학적 근거는 기재되어 있지 않다. 이에 대해 환경부 담당부서에 유선으로 문의한 결과, 황산은 IARC와 NTP의 발암성 분류를 근거로 하여 중점관리물질로 지정되었음을 확인할 수 있었다. IARC와 NTP 모두 황산의 미스트 형태에 대해서만 발암성을 인정하는 기관이다. 그럼에도 불구하고 환경부 고시에는 물리적 형태에 따른 적용 범위가 명확히 기술되어 있지 않아서 국내에서는 액체 형태의 황산까지 동일하게 발암물질로 규제될 수 있는 구조적 한계가 있다.

또한 환경부의 다른 고시에서는 황산의 발암성이 분류되지 않기도 했다. 화학물질안전원 고시 제2025-7호「화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정」의 별표 4에서는 황산의 유해성을 ‘금속부식성 구분1’, ‘급성 흡입독성 구분2’, ‘피부 부식성/자극성 구분1’로만 분류하고 있었으며 발암성은 분류되어 있지 않았다. 이는 환경부 소관의 규제 간에도 동일 물질에 대한 유해성 분류기준이 일관되지 않을 수 있음을 보여줄 뿐 아니라 발암성

2) 출처: 산업안전보건기준에 관한 규칙 제420조(정의) 이 장에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. <개정 2012.3.5> (중략) 6. ‘특별관리물질’이란 「산업안전보건법 시행규칙」별표 18 제1호 나목에 따른 발암성 물질, 생식세포 변이원성 물질, 생식독성 물질 등 근로자에게 중대한 건강장해를 일으킬 우려가 있는 물질로서 별표 12에서 특별관리물질로 표기된 물질을 말한다.

3) 출처: 산업안전보건기준에 관한 규칙 제439조(특별관리물질 취급 시 적어야 하는 사항) 법 제164조제1항제3호에서 ‘안전조치 및 보건조치에 관한 사항으로서 고용노동부령으로 정하는 사항’이란 근로자가 별표 12에 따른 특별관리물질을 취급하는 경우에는 다음 각 호의 사항을 말한다. 1. 근로자의 이름 2. 특별관리물질의 명칭 3. 취급량 4. 작업내용 5. 작업 시 착용한 보호구 6. 누출, 오염, 흡입 등의 사고가 발생한 경우 피해 배움 및 조치 사항 <개정 2021.11.19>. 제440조(특별관리물질의 고지) 사업주는 근로자가 별표 12에 따른 특별관리물질을 취급하는 경우에는 그 물질이 특별관리물질이라는 사실과 「산업안전보건법 시행규칙」별표 18 제1호나목에 따른 발암성 물질, 생식세포 변이원성 물질 또는 생식독성 물질 등 중 어느 것에 해당하는지에 관한 내용을 게시판 등을 통하여 근로자에게 알려야 한다. <개정 2012.12.26.>[전문개정 2012.3.5.]

4) 「화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(고용노동부 고시)의 ‘723번: 황산’ 항목 비교란 원문: [7664-93-9] 발암성 1A(강산 Mist에 한정함), 흉곽성

Table 1. Current legal framework on sulfuric acid in South Korea

Regulation	Targets of Regulation	Subject to Regulation
Occupational Safety and Health Act	Hazardous substance requiring management	Listed
	Special Management substances	Listed (applicable only when its pH is less than 2.0)
	Hazardous substances requiring working environment measurement	Listed
	Hazardous substances requiring special health examination	Listed
	Hazardous substances subject to maintenance below permissible standards	Listed
	Substances with manufacturing restrictions	Unlisted
	Materials subject to permission	Unlisted
Chemical Substances Control Act	Threshold limit values (TLVs)-set substances	Listed (applicable only when it is exposed as strong acid mist) [TLV: TWA 0.2 mg/m <sup>3</sup> (Thoracic), STEL 0.6mg/m <sup>3</sup> (Thoracic)]
	Hazardous substances subject to process safety reports	Listed
	Existing chemical substances	Listed
	Prohibited substances	Unlisted
	Restricted substances	Unlisted
	Substances subject to permission	Unlisted
	Hazardous chemical substances	Listed (applicable only when it is sulfuric acid or mixtures containing 10% or more sulfuric acid)
	Substances requiring preparation for accidents	Listed (applicable only when it is sulfuric acid or mixtures containing 10% or more sulfuric acid)

분류 시 물리적 형태에 따른 유해성 차이가 명확하게 반영되지 않음을 의미한다.

### 3. 황산에 대한 국외기관의 발암성 분류 및 입장

황산의 발암성에 대해서는 국제적으로 여러 기관이 평가를 수행해 왔으며, 대부분 흡입에 의한 강산 미스트 형태의 노출을 중심으로 발암성을 인정하고 있다. 본 연구에서는 이러한 국제적 논의 흐름을 반영하여, 국제적으로 공신력 있는 9개 기관의 공식 자료를 검토하고 분석하였다(Table 2).

IARC는 1992년 「발암성 물질 평가 모노그래프」 제 54호<sup>5)</sup>를 통해 황산을 함유한 강무기산 미스트를 인체 발암성 물질(Group 1, Carcinogenic to humans)로 분류하였다. 해당 모노그래프는 강무기산 및 기타 산업

용 화학물질의 발암성을 다루고 있으며, 출판 배경에는 강무기산의 미스트 및 증기 흡입이 후두암 및 기타 호흡기계 암의 과도한 위험과 관련된다는 다수의 역학 연구 결과가 있었다. 이러한 연구는 산성 물질 자체의 발암 가능성이라는 가설을 제기하였고, IARC는 이를 검토하기 위해 다양한 산업에서의 강산 사용 사례를 종합적으로 분석하였다.

이 중 황산은 강무기산 중에서도 가장 널리 사용되며, 관련 역학 자료 또한 풍부하여 본 모노그래프와 그 부록에서 직업적 노출을 중심으로 상세히 논의되었다. 당시 평가된 9종의 물질 중 직업적으로 황산을 포함한 강무기산 미스트에 노출되는 경우만이 Group 1으로 분류되었다. 'Group 1'은 인체에 대한 충분한 발암성 증거가 있는 경우를 의미하지만, 예외적으로 인간에 대한 증거가 부족하더라도 실험동물 연구에서의 발암성과 발암 관련 메커니즘에 대한 강력한 증거가 있는 경우에도 적용될 수 있다 (IARC, 1992).

5) 부연 설명: 전문가로 구성된 국제 실무단의 검토를 바탕으로 IARC가 인체노출 요인의 발암성 증거를 비판적으로 평가하여 단행본 형태로 발간한 과학적 출판물

**Table 2.** Carcinogenicity classification and the positions for sulfuric acid and its mists established by international organizations

Organization	Range of Target Chemical	Carcinogenicity Classification	Position of the Organization [Reference]
International Agency for Research on Cancer (IARC)	Strong inorganic acid mists containing sulfuric acid → Mists from strong inorganic acids	Group 1	The IARC classified 'occupational exposures to strong inorganic acid mists containing sulfuric acid' as carcinogenic to humans (Group 1) in 1992 based on epidemiological evidence linking such exposures to laryngeal and other respiratory cancers. In 2012, the IARC broadened this classification to cover all strong inorganic acid mists, regardless of sulfuric acid content, citing sufficient evidence of carcinogenicity in humans. Thus, sulfuric acid mist continues to be included in Group 1, but within the expanded category of strong inorganic acid mists. [Reference: IARC Monograph Volume 54 (1992); IARC Monograph Volume 100F(2012)]
National Toxicology Program (NTP)	Strong inorganic acid mists containing sulfuric acid	Group K	The NTP accepted the carcinogenic classification presented in IARC Monograph Volume 54, recognizing that 'strong inorganic acid mists containing sulfuric acid' have sufficient evidence of carcinogenicity in humans. Based on this evaluation, the NTP classified these mists as 'Known to be a Human Carcinogen (Group K)' in its 2021 report. This designation reflects the alignment of the NTP's position with IARC's earlier assessment of sufficient human evidence. [Reference: NTP Report on Carcinogens 9th (1999);15th (2021)]
American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)	Sulfuric acid contained in strong inorganic acid mists	Group A2	The ACGIH acknowledged that many studies on sulfuric acid and cancer have methodological limitations, yet judged the overall evidence to be suggestive of an association between sulfuric acid exposure and laryngeal cancer. Accordingly, the ACGIH classified 'sulfuric acid contained in strong inorganic acid mists' as a Suspected Human Carcinogen (Group A2), drawing on the IARC's Group 1 classification, the frequent co-exposure of sulfuric acid with other inorganic acids in workplaces, and the collective results of epidemiological studies. However, ACGIH stressed that because there are too few human studies on sulfuric acid alone and the existing findings are inconsistent, more detailed research is needed to clearly determine whether it causes cancer. [Reference: ACGIH TLV Documentation (2019)]
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)	Sulfuric acid	Category 4	The DFG reported that epidemiological studies, including case-control and cohort analyses, showed an increased incidence of laryngeal carcinoma among workers exposed to sulfuric acid aerosols. However, it noted that animal studies did not demonstrate carcinogenic or tumor-promoting effects, indicating a lack of direct genotoxic potential. It therefore interprets the observed human tumors as the result of strong local irritation from high-concentration aerosols leading to regenerative cell proliferation and classifies sulfuric acid as a non-genotoxic carcinogen with cancer risk expected only under excessive exposure. [Reference: DGUV IFA GESTIS Substance Database (2007)]

Table 2. Continued

Organization	Range of Target Chemical	Carcinogenicity Classification	Position of the Organization [Reference]
European Commission (EC)	Sulfuric acid mists	(Not provided)	EC concluded that, despite limitations in the IARC-reviewed studies—such as inadequate control of confounding factors like smoking and uncertainties regarding sulfuric acid exposure—SCOEL found sufficient evidence linking occupational sulfuric acid exposure to an increased risk of laryngeal cancer. Accordingly, SCOEL recommended an inhalable-fraction exposure limit of 0.05 mg/m <sup>3</sup> (8-hr TWA) to reflect the potential human carcinogenicity of sulfuric acid. After reviewing this recommendation, the EC adopted a thoracic-fraction limit of 0.05 mg/m <sup>3</sup> for sulfuric acid mist. [Reference: EC Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits (SCOEL) for sulfuric acid (2012)]
European Chemicals Agency (ECHA)	Sulfuric acid	Not classified	The ECHA noted that while several epidemiological studies have reported an association between sulfuric acid mist exposure and laryngeal cancer, these studies may not have adequately controlled for confounding factors such as smoking or co-exposure to other chemicals. In addition, a number of studies using various animal species have not demonstrated any carcinogenic effect of inhalation exposure to sulfuric acid mists. [Reference: REACH Registration Dossier (2010)]
National Institute of Technology and Evaluation (NITE)	Sulfuric acid	Not classified	The NITE did not classify sulfuric acid itself as a carcinogen, citing that the IARC's classification was limited to 'strong inorganic acid mists containing sulfuric acid' and that inhalation studies in three animal species showed no significant carcinogenic effects. NITE noted that it reviewed the IARC's 2012 Monograph 100F as a reference, but its classification rationale relied on the narrower 1992 definition, restricted to strong inorganic mists 'containing sulfuric acid.' This reliance on the earlier definition, despite the broader scope adopted in 2012, may create confusion in interpreting the classification boundaries. [Reference: NITE Japan-GHS (2022)]
UK Health Security Agency (UK HSA)	Sulfuric acid/ Sulfuric acid mists	Not classified/ Accepted	The UK HSA did not classify sulfuric acid itself as a carcinogen but acknowledged the carcinogenicity of sulfuric acid mists. Referring to IARC Monograph Volume 54, it recognized 'strong inorganic acid mists containing sulfuric acid' as Group 1 carcinogens. Thus, while sulfuric acid alone is not classified, the carcinogenic potential of sulfuric acid mists is affirmed. [Reference: Compendium of Chemical Hazards: <Guidance> Sulphuric Acid Toxicological Information (2024)]
Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)	Sulfuric acid mists	Not classified	The OECD reported that animal inhalation studies on sulfuric acid mist did not show carcinogenic effects under its SIDS evaluation program for high production volume chemicals. While acknowledging the multiple epidemiological studies suggesting associations with laryngeal cancer, the OECD noted their limitations due to potential confounding factors such as smoking and co-exposure to other chemicals. Nevertheless, it concluded that the possibility of carcinogenicity from occupational exposure to sulfuric acid mist cannot be ruled out and recommended further data collection. [Reference: OECD SIDS Initial Assessment Report for 11 <sup>th</sup> SIAM (2001)]

이후 2012년, IARC는 기존의 Group 1 물질을 전면 재검토하기 위해 여섯 개의 작업반(Working Groups)<sup>6)</sup>을 구성하고, 모노그래프 제100호 시리즈인 「인체 발암물질에 대한 리뷰(A Review of Human Carcinogens)」를 발간하였다. 이 중 화학물질과 관련 직업군을 다룬 제100F호(2012)에서는 기존 제54호(1992)에 포함되었던 황산 미스트 관련 정의를 ‘강무기산 미스트’로 확장하여 재수록하였다. 이 모노그래프에서는 강무기산 미스트가 후두암과의 관련성에 대해 충분한 인체발암성 증거를 가지며, 폐암과의 연관성도 일부 확인된다고 보고하였다. 이에 따라 황산 포함 여부와 무관하게 강무기산 미스트 전반이 Group 1으로 분류되었으며, 이는 발암성 분류 범위가 기존보다 확대된 것이라 할 수 있다(IARC, 2012).

NTP는 IARC 모노그래프 제54호(1992)에서 제시된 발암성 분류를 수용하여, 황산을 함유한 강무기산 미스트가 사람을 대상으로 한 연구에서 발암성과 관련된 충분한 근거가 있다고 판단하고 이를 인체 발암성 물질(Known to be Human Carcinogen, Group K)로 분류하였다(NTP, 2021).

또한 ACGIH는 황산과 암에 관한 많은 연구에서 하나 이상의 결함이 확인되었다는 점을 인정하면서도, 후두암과 황산 노출 간의 연관성을 시사하는 정보가 우세하다는 판단에 따라, ‘황산을 함유한 강무기산 미스트를 추정 인체 발암물질(Group A2, Suspected Human Carcinogen)로 분류하였다. ACGIH는 이러한 판단의 근거로, IARC 모노그래프 제54호(1992)에서 해당 물질이 인체 발암성 물질(Group 1)로 분류된 점, 산업현장에서 황산 노출이 대부분 다른 무기산과 병행되어 발생한다는 점, 그리고 기존 역학연구들의 결과를 종합적으로 고려하였다. 다만 ACGIH는 현재까지 황산 단독 노출에 대한 인체 연구가 부족하고, 기존 연구 결과들 간에 상충되는 부분이 존재한다는 점에서, 황산 노출과 발암성 간의 인과관계를 명확히 규명하기 위해서는 향후 보다 정밀한 추가 연구가 필요하다는 입장을 밝히고 있다(ACGIH, 2019).

또한 DFG는 황산의 발암성을 인정하고, 자체 발암성 분류체계(Kanzerogenitäts-Kategorie)에 따라 이를 ‘카테고리 4(Kategorie 4)’로 분류하였다. 카테고리 4는 사람 또는 동물에게 발암성이 있거나 발암성으로 간

주되나, 비유전독성(non-genotoxic) 작용기전에 근거하여 노출기준<sup>7)</sup> 이하에서는 암 발생 위험이 없다고 판단되는 물질에 해당한다. 이 분류군의 주요 발암 기전은 세포 증식 증가, 세포자멸사(apoptosis) 억제, 세포 분화 장애 등이며, 유전독성 효과는 부차적이거나 무시할 수 있는 수준으로 간주된다. 이와 같은 분류는 용량-시간-효과 간의 상관관계를 종합적으로 고려하여 결정되며, 노출 한계 설정이 가능한 조건부 발암물질로 분류된다는 점에서 규제 적용에 있어 유연한 접근이 가능하다(DGUV, 2007).

한편, EC는 직접적으로 황산의 분류결과를 제공하고 있지는 않다. 그러나 IARC 자료에서 검토된 연구들은 흡연과 같은 교란 요인을 고려하지 않은 점이나 황산 노출 정보의 불확실성과 같은 한계가 있음에도 불구하고, 직업적 황산 노출이 후두암 위험 증가와 관련이 있다는 결론을 내리기에 충분한 근거가 존재한다는 입장이다(EC, 2007; EU 2009).

이와 달리 ECHA는 황산 미스트 노출과 후두암 발생 간의 연관성을 보고한 여러 역학 연구가 존재함에도 불구하고, 해당 연구들이 흡연이나 타 화학물질에 대한 노출과 같은 교란 요인(confounding factors)을 충분히 통제하지 않았을 가능성을 지적하였다. 이에 따라 황산에 대해 발암성 분류를 내리기에는 과학적 증거가 불충분하다고 판단하였으며, 현재 ECHA의 조화분류(harmonized classification)에는 황산의 발암성 관련 항목이 포함되어 있지 않다(ECHA, 2010).

NITE 또한 황산을 발암물질로 분류하지 않았다. 이러한 분류는 IARC의 분류가 ‘황산을 함유한 강무기산 미스트’에 국한되며, 세 가지 실험동물 종을 대상으로 한 황산 미스트 흡입 발암성 시험에서 유의미한 발암 영향이 관찰되지 않았다는 점을 근거로 하였다(NITE, 2022). 다만, NITE는 분류 근거자료로 IARC 모노그래프 제100F호(2012)를 검토했다고 명시하면서도, 실제 분류 근거 내용에는 ‘황산을 함유한 강무기산 미스트’라는 IARC 모노그래프 제54호(1992)의 정의를 사용하였다. IARC 2012년판의 발암성 지정 대상은 황산 함유 여부와 무관하게 ‘강무기산 미스트’ 전체임에도 NITE

6) 부연 설명: 의약품, 생물학적 제제, 비소 금속 섬유 분진, 방사선, 개인적 습관 및 실내 연소물, 화학물질 및 관련 직업군

7) 부연 설명 및 출처: 최대 작업장 농도(Maximale Arbeitsplatz-Konzentration, MAK)와 생물학적 허용치(Biologischer Arbeitsstoff-Toleranzwert, BAT)를 의미한다. 독일연구재단(DFG)의 발암성 분류에 관한 상세내용은 ‘MAK- und BAT-Werte-Liste 2025’의 제3절 참조.

가 이를 1992년 정의로 한정하여 서술한 점은 분류 범위의 해석에서 혼동을 야기할 수 있다(NITE, 2022).

UK HSA는 황산 자체는 발암물질로 분류하지 않았으나, IARC 모노그래프 제54호(1992)에 따라 '황산을 함유한 강무기산 미스트'는 인체 발암성 물질(Group 1)에 해당한다는 기존 평가<sup>8)</sup>를 인용하며 황산 미스트의 발암성은 인정하는 입장이다(UK HSA, 2024).

한편, OECD는 대량생산 화학물질(high production volume chemicals)의 위해성 초기 평가 프로그램(Screening Information Data Set, SIDS)에 따라 황산 미스트에 대한 동물흡입 실험에서 발암 효과는 관찰되지 않았다고 보고하였다<sup>9)</sup>(OECD, 2001). 더불어, 후두암 등과의 연관성을 분석한 역학연구들이 다수 존재하지만, 흡연 및 타 화학물질 노출과 같은 교란 요인의 영향 가능성을 배제할 수 없다는 점을 근거로 해당 연구들의 결론에는 한계가 있음을 지적하였다(OECD, 2001). 그러나 OECD는 직업적 노출 환경에서 황산 미스트의 발암 가능성을 완전히 배제할 수는 없다고 판단하여 추가적인 노출 정보 수집이 필요하다고 제안하였다<sup>10)</sup>(OECD, 2001).

#### 4. 국내외 기관의 노출기준 비교

국내외의 노출기준 비교는 국내 기준과 외국 8개 기관의 기준을 바탕으로 분석하였으며, 관련 내용은 Table 3에 정리하였다. 황산의 노출기준은 기관에 따라 상당한 차이를 보였다. 먼저, 국내 노출기준은 TWA 0.2 mg/m<sup>3</sup>과 STEL 0.6 mg/m<sup>3</sup>이며 모두 흉곽성 입자 기준이다.

ACGIH의 노출기준 역시 TWA 0.2 mg/m<sup>3</sup>(흉곽성

입자 기준)으로 국내 기준과 동일하나, STEL은 설정되어 있지 않다. ACGIH는 IARC 모노그래프 제54호에서 제시된 '황산을 함유한 강무기산 미스트'의 발암성 평가를 반영하여 노출기준(Threshold Limit Value, TLV)을 개정하였으며, 2004년부터 현재까지 동일한 기준을 유지하고 있다. 이 수치는 호흡기 질환 근로자의 폐기능 저하를 방지하고 황산 에어로졸에 의한 점막 섬모기능 이상을 최소화하기 위해 설정된 것이며, 후두암 등과의 역학적 관련성이 확인된 점을 반영하여 발암가능성(A2)도 고려되었다. 흉곽성 입자 기준을 적용한 이유는 황산 에어로졸의 입자 크기가 대부분 10 μm 이하로 중심기도에 침착되기 쉬워 폐기능 변화 및 후두암 발생 등 중심기도 보호가 중요하기 때문이다(ACGIH, 2019).

NIOSH의 권고 노출기준(Recommended Exposure Limit, REL)과 OSHA의 허용 노출기준(Permissible Exposure Limit, PEL)은 모두 황산 자체에 적용되는 기준으로, 입자 크기와 관계없이 TWA 1 mg/m<sup>3</sup>로 설정되어 있으며, STEL은 설정되어 있지 않다.

JSOH는 황산에 대해 급성독성, 만성영향, 치아손상 등을 종합적으로 반영하여 최고 노출기준(Ceiling, C) 1 mg/m<sup>3</sup>를 제시하고 있다. 이 수치는 발암성을 반영하지 않은 것으로, 황산 단독의 발암성을 입증할 만한 역학적 근거와 동물실험 결과가 부족하다는 이유에서다. 이에 따라 JSOH는 황산의 발암성 분류를 유보하며, 향후 관련 근거가 축적될 경우 재검토할 예정임을 명시하였다(JSOH, 2000).

한편, Cal/OSHA은 황산의 허용 노출기준을 TWA 0.1 mg/m<sup>3</sup>, STEL 3 mg/m<sup>3</sup>로 설정하고 있으며, DFG는 흡입성 입자 기준(inhalable fraction)으로 MAK<sup>11)</sup> 0.1 mg/m<sup>3</sup>를 제시하고 있다<sup>12)</sup>. DFG는 단기 노출한계(Spitzenbegrenzung, Spzbg)를 I(1)로 분류하여 해당 수치를 초과하는 15분 평균 노출도 허용하지 않으며, 순간값(Momentanwert)은 0.2 mg/m<sup>3</sup>로 설정<sup>13)</sup>하여 이 수치를 절대 초과하지 않도록 권고한다

8) 원문 번역: 황산을 함유한 강무기산 미스트(strong inorganic acid mists containing sulphuric acid)에 장기간 노출된 근로자를 대상으로 수행된 연구에서 강무기산 미스트 노출은 후두암을 유발하며 폐암과도 양적 상관성이 있는 것으로 나타났다.

9) 원문: No carcinogenic effect was observed in carcinogenicity studies conducted by inhalation with sulfuric acid aerosol using 3 different animal species. Small increases in tumor incidence were reported in rats and mice after chronic gastric intubation or intratracheal instillation of sulfuric acid solution, but no clear conclusion can be drawn from these studies.

10) 원문: the collection of information about occupational exposure to sulfuric acid mist should be considered due to the carcinogenic potential.

11) 부연 설명: MAK 값은 근로자가 일반적인 작업조건(일일 8시간, 주 40시간) 하에서 장기적으로 반복 노출되더라도 건강에 해를 끼치지 않는 공기 중 물질의 최대 허용농도를 의미하며, 이 값은 과학적 근거에 기반한 건강 보호 기준으로 설정되며, 기술적·경제적 실현 가능성과는 무관하게 결정된다.

12) 부연 설명: 황산의 독일어 명칭은 'Schwefelsäure'이다.

13) 원문: Ein Momentanwert von 0.2 mg/m<sup>3</sup> sollte nicht überschritten werden.

**Table 3.** Current threshold limit values (TLVs) for sulfuric acid established by countries

Nation	Organization - Regulation or List name	Target Chemical	TLVs (unit: mg/m <sup>3</sup> )		
			TWA	STEL	C
Republic of Korea	Occupational Safety and Health Act	Sulfuric acid	0.2 (T)	0.6 (T)	-
United States	ACGIH <sup>1)</sup> - TLVs	Sulfuric acid	0.2 (T)	-	-
	NIOSH <sup>2)</sup> - RELs		1	-	-
	OSHA <sup>3)</sup> - PELs		1	-	-
	Cal/OSHA <sup>4)</sup> - PELs		0.1	3	-
Japan	JSOH <sup>5)</sup> - OELs	Sulfuric acid	-	-	1
Germany	DFG <sup>6)</sup> - MAKs	Sulfuric acid	0.1 (I)	-	0.2
European Union	SCOEL <sup>7)</sup> Recommendation	Sulfuric acid	0.05 (I)	(0.1) <sup>†</sup>	-
	EC <sup>8)</sup> IOELV	Sulfuric acid (mist)	0.05 (T)	-	-
United Kingdom	HSE <sup>9)</sup> - WELs	Sulfuric acid (mist)	0.05 (T)	-	-

<sup>†</sup>This value was proposed by SCOEL but has not been adopted as an official exposure limit.

<sup>1)</sup> ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists

<sup>2)</sup> NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health

<sup>3)</sup> OSHA: Occupational Safety and Health Administration

<sup>4)</sup> Cal/OSHA: California Division of Occupational Safety and Health

<sup>5)</sup> JSOH: Japan Society for Occupational Health

<sup>6)</sup> DFG: German Research Foundation (Deutsche Forschungsgemeinschaft)

<sup>7)</sup> SCOEL: Scientific Committee on Occupational Exposure Limits

<sup>8)</sup> EC: European Commission

<sup>9)</sup> UK HSE: United Kingdom's Health and Safety Executive

(DFG, 2025). 다만, 이러한 설정 근거에 대한 직접적인 설명은 문헌상에서 확인되지 않았다.

EC는 IARC의 발암성 분류 연구가 일부 교란 요인 통제나 노출 정보의 한계에도 불구하고, 황산의 직업적 노출이 후두암 위험 증가와 관련된다는 충분한 역학적 증거가 있다고 판단하여 TWA 0.05 mg/m<sup>3</sup> (흡광성 입자 기준)이라는 엄격한 수치를 제시하고 회원국에 권고하였다(EU, 2009). 이 기준은 당시의 독일 MAK(0.1 mg/m<sup>3</sup>)와 실질적으로 유사한 수준의 보호를 제공하는 것으로 평가되며, '유럽연합의 공동 목표'로서 IOELV (Indicative Occupational Exposure Limit Value) 형태로 2009/161/EU 지침에 명시되었다(Breuer, 2012). 본래, 자문기구인 SCOEL은 EC에 흡입성 입자 기준으로 TWA 0.05 mg/m<sup>3</sup>를 권고하였으나, EC에서는 그보다 보수적인 흡광성 입자 기준을 채택하였다. 또한, STEL은 0.1 mg/m<sup>3</sup>로 설정하는 것이 바람직하다는 의견이 있었으나, 측정 방법의 부재로 인해 IOELV에는 포함되지 않았다(EC, 2012; EU, 2009).

UK HSE은 황산 미스트<sup>14)</sup>에 대해 작업장 노출한계

(Workplace Exposure Limit, WEL)로 TWA 0.05 mg/m<sup>3</sup> (흡광성 입자 기준)을 설정<sup>15)</sup>하였으며, 발암성, 변이원성, 천식 유발 가능성 등 유해성이 확인된 물질은 가능한 한 낮은 수준으로 노출을 관리하도록 요구하고 있다<sup>16)</sup>. 다만, 황산 미스트의 노출기준이 포함된 표 1의 비고(Comments)<sup>17)</sup>란에 'Carc' 등의 문구가 없으나, 이는 정보 누락일 가능성이 있으며<sup>18)</sup> 발암성이 없다는 의미로 해석되지는 않는다.

14) 원문: Sulphuric acid mist

15) 출처: EH40/2005 Workplace exposure limits(Fourth Edition 2020, ISBN: 978-0-7176-6733-8) Table 1: List of approved workplace exposure limits

16) 원문: In addition, for carcinogens, mutagens and asthmagens, exposure must be controlled to as low as is reasonably practicable(ALARP).

17) 부연 설명: 'Table 1: List of approved workplace exposure limits'의 비고란(Comments)에는 'Carc(Carcinogen, 발암성 물질)', 'Sens(Sensitiser, 과민성 물질)', 'Sk(Skin, 피부를 통해 흡수될 수 있는 물질)' 등의 문구가 기재된다.

18) 원문: The Carc, Sens and Sk notations are not exhaustive.

#### IV. 결과 고찰 및 결론

황산은 다양한 산업 공정에서 핵심적으로 사용되는 물질로, 주로 미스트 형태로 공기 중에 존재하며 호흡 기계를 통해 인체에 흡입될 수 있다. IARC는 제54호(1992) 및 제100F호(2012) 모노그래프를 통해 '황산이 포함된 강무기산 미스트'에 대한 직업적 노출이 후두암 및 기타 호흡기계 암 발생과 관련이 있다고 판단하고, 이에 따라 '황산이 포함된 강무기산 미스트'를 Group 1 발암물질로 분류하였다. IARC의 이러한 결정은 발암성 분류가 물질의 화학적 조성 자체가 아니라 특정한 물리적 형태(미스트)에 한정된다는 점에서 이례적인 사례로 평가되며, 강산 미스트 형태의 흡입 노출에만 발암성을 인정하고 액상 황산이나 기타 노출 경로에서는 발암성을 인정하지 않는다는 과학적 판단을 전제로 한다.

그러나 형태 기반의 발암성 분류는 국내 규제 체계 내에서 혼선을 야기할 수 있다. 현재 고용노동부 소관의 「화학물질 및 물리적 인자의 노출기준」고시는 황산 미스트에 대해서만 발암성을 명기하고 있으나, 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서는 pH 2.0 이하의 황산을 별도의 노출 형태 구분 없이 특별관리물질로 지정하고 있다. 이로 인해 산업현장에서는 액상 황산에 대해서도 발암물질로 오인하거나, 강산 미스트가 형성되지 않는 공정까지도 일률적으로 동일한 규제를 적용받는 상황이 발생할 수 있다. 이는 규제 간 정합성 결여를 의미하며, 물질의 유해성에 대한 과학적 근거에 입각한 규제 체계로의 개편이 요구된다.

국의 기준과 비교한 결과, 이러한 규제 개편의 필요성은 더욱 두드러졌다. EU는 2009년부터 황산의 노출 기준을 흡입성 입자에서 흡광성 입자 기준으로 전환하였으며, IOELV를 TWA 0.05 mg/m<sup>3</sup>로 설정하였다. 이 기준은 기존의 독일 MAK 기준(0.1 mg/m<sup>3</sup>, inhalable fraction)과 유사한 보호수준을 제공하지만, 발암성 가능성을 반영하여 더욱 보수적인 기준으로 제시된 것이다. 이와 달리, 일부 기관(ECHA, NITE 등)은 관련 역학연구들이 교란 요인을 충분히 통제하지 못했거나 노출 정보가 불확실하다는 이유로 황산의 발암성을 인정하지 않거나, 액상 형태의 황산에 대해서는 발암성을 적용하지 않는 입장을 고수하고 있다. 이처럼 국제적으로도 황산의 발암성 적용 범위에 대한 해석은 상이하나, 대다수 기관은 강산 미스트 형태에 대해 잠재적인

발암성을 인정하고 있는 추세다.

따라서 국내 규제 체계도 황산의 발암성 적용 범위를 명확히 반영할 수 있도록 정비할 필요가 있다. 예를 들어 현재 관리대상 유해물질 및 특별관리물질로 지정된 「황산(Sulfuric acid; 7664-93-9) (pH 2.0 이하인 강산은 특별관리물질)」을 IARC의 정의를 참고하여 「황산(Sulfuric acid; 7664-93-9) (pH 2.0 이하이며 강산 미스트 형태로 노출되는 경우에 한해 특별관리물질)」로 개정하는 방안을 고려할 수 있다. 그리고 다음 단계로 정부는 기존에 특별관리물질 사용 사업장을 대상으로 황산의 노출 형태를 재검토하도록 적극 안내하여야 한다. 특히, 황산이 강산 미스트 형태로 노출되지 않는 것이 객관적으로 입증된 경우에 한해 특별관리물질 적용이 제외될 수 있도록 세심한 관리가 필요하다. 이는 합리적인 경우에 한해 완화를 허용하고 불필요한 규제회피는 방지함으로써 산업현장에서 발생할 수 있는 예기치 못한 재해를 사전에 예방하는데 기여할 것이다.

아울러, 황산의 강산성 특성이 발암성과 연관된다는 가설을 고려하면 EC의 권고와 같이 황산의 노출기준을 현행보다 강화하고, 사업장이 작업장 내 노출 수준을 더욱 낮은 농도에서 관리하도록 유도할 필요가 있다. 이를 위한 세부적인 조치 방안으로는 작업공정의 밀폐화, 국소배기장치의 설치 및 유지관리 강화, 개인 보호구 착용 강화 등이 포함될 수 있으며 이러한 다층적 보호 조치를 병행한다면 황산으로 인한 직업성 암 발생 위험을 실질적으로 저감할 수 있을 것이다.

#### References

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for sulfur trioxide and sulfuric acid[Internet]. Atlanta (GA): Agency for Toxic Substances and Disease Registry; 1998. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK598200/>
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Sulfuric acid: TLV and documentation[Internet]; 2025. Available from: <https://www.acgih.org/sulfuric-acid/>
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Sulfuric acid: TLV and documentation 7<sup>th</sup> edition. 2019.
- Breuer D. Sulfuric acid at workplaces – Applicability of the new Indicative Occupational Exposure Limit Value

- (IOELV) to thoracic particles. *J Environ Monit* 2012;14(2):440-445. <http://doi.org/10.1039/c2em10659k>.
- California Department of Industrial Relations. Airborne contaminants Title 8, Section 5155)[Internet]. [cited] Available from: <https://www.dir.ca.gov/title8/5155.html>
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung(DGUV). IFA GESTIS substance database: sulfuric acid (CAS No. 7664-93-9)[Internet]. [cited] Available from: <https://gestis-database.dguv.de/data?name=001160>
- European Chemicals Agency(ECHA). Annex VI to CLP: Harmonised classification and labeling information [Internet]. Helsinki: ECHA; [cited 2025 Jul 16]. Available from: <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/annex-vi-to-clp>
- European Chemicals Agency(ECHA). Recommendations of the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits(SCOEL)[Internet]. [cited] Available from: <https://echa.europa.eu/es/recommendations-of-the-scoel>
- European Chemicals Agency(ECHA). Registration Dossier for Sulphuric acid[Internet]. 2010 [cited]. Available from: [https://chem.echa.europa.eu/100.028.763/dossier-view/9868902f-b988-48e5-bc1a-d62c80336b02/IUC5-6dfb8917-5602-4fa3-a805-59678c100d96\\_3e3b1645-205e-41c4-accf-0d816d1d212a?searchText=7664-93-9](https://chem.echa.europa.eu/100.028.763/dossier-view/9868902f-b988-48e5-bc1a-d62c80336b02/IUC5-6dfb8917-5602-4fa3-a805-59678c100d96_3e3b1645-205e-41c4-accf-0d816d1d212a?searchText=7664-93-9)
- European Commission(EC). Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Sulfuric acid(SCOEL/SUM/105 January 2007/Annex 2 December 2012)[Internet]. 2012 [cited]. Available from: [https://echa.europa.eu/documents/10162/35144386/142\\_sulphuric\\_acid\\_oel\\_en.pdf](https://echa.europa.eu/documents/10162/35144386/142_sulphuric_acid_oel_en.pdf)
- European Union(EU). Commission Directive 2009/161/EU establishing a third list of indicative occupational exposure limit values[Internet]. Official Journal of the European Union. 2009; L338:87-89 [cited]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:338:0087:0089:EN:PDF>
- German Research Foundation(Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG) – Permanent Senate Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area. MAK- und BAT-Werte-Liste 2025. Essen: Publisso; 2025. DOI: 10.34865/mbwl\_2025\_deu.
- International Agency for Research on Cancer(IARC). Chemical agents and related occupations. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 100F. Lyon (FR): IARC; 2012. ISBN: 978-92-832-1323-9, 978-92-832-0138-0.
- International Agency for Research on Cancer(IARC). Occupational exposures to mists and vapours from strong inorganic acids: and other industrial chemicals. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 54. Lyon (FR): IARC; 1992. ISBN: 978-92-832-1254-6, 978-92-832-0254-7.
- International Labour Organization(ILO), World Health Organization(WHO). Sulfuric acid: ICSC 0362 [Internet]. International Chemical Safety Cards(ICSC). [cited] Available from: [https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=en&p\\_card\\_id=0362](https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=en&p_card_id=0362)
- Japan Society for Occupational Health(JSOH). National Institute of Technology and Evaluation(NITE). Sulfuric acid: CHRIP Chemical Risk Information Platform. Occupational exposure limits: details. [Internet]. 2000 [cited]. Available from: [https://www.chem-info.nite.go.jp/en/chem/chrip/chrip\\_search/cmplnfdsp?cid=C004-694-36A](https://www.chem-info.nite.go.jp/en/chem/chrip/chrip_search/cmplnfdsp?cid=C004-694-36A)
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical agents(MoEL Public Notice No. 2020-48). 2020. p. 72
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Rules on Occupational Safety and Health Standards (Enforced on June 28, 2024). 2024.
- Ministry of Environment(MOE). Designation of priority management substances(MOE Public Notice No. 2022-79). 2022.
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Sulfuric acid: IDLH documentation [Internet]. [cited] Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/7664939.html>
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Sulfuric acid: NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards (NPG)[Internet]. [cited] Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0577.html>
- National Institute of Technology and Evaluation(NITE). Latest GHS Classification Results by the Japanese Government (edited by NITE)[Internet]. 2022 [cited]. Available from: <https://www.chem-info.nite.go.jp/chem/ghs/m-nite-7664-93-9.html>
- National Toxicology Program(NTP). Report on Carcinogens, Fifteenth Edition[Internet]. 2021 [cited]. Available from: <https://ntp.niehs.nih.gov/go/roc15>
- National Toxicology Program(NTP). Report on Carcinogens,

- Ninth Edition[Internet]. 1999 [cited]. Available from: <https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults.xhtml?searchQuery=PB2000107509>
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Permissible exposure limits – Annotated tables [Internet]. Washington (DC): U.S. Department of Labor, OSHA. [cited]. Available from: <https://www.osha.gov/annotated-pels>
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Sulfuric acid: Chemical data and exposure limits [Internet]. [cited]. Available from: <https://www.osha.gov/chemicaldata/624>
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). Sulfuric acid: Screening information data set (SIDS) initial assessment report for 11th SIAM [Internet]. 2001 [cited]. Available from: <https://hpvchemicals.oecd.org/ui/handler.axd?id=248f397d-64b3-4e14-8be9-473974e8dfdb>
- Park HH. Analysis of working environment measurement data to utilize it for hazards surveillance and risk assessment. Korea Occupational Safety and Health Agency, Occupational Safety and Health Research Institute (KOSHA Research Report No. 2023-722); 2023 Nov 30. p. 325-326. ISBN: 979-11-92782-97-3
- Son M, Yun J, Hwang YS, Park M, Choi M, Lee MY, Paek D. Exposure of carcinogens in electronics industries and strategy for control of carcinogens: Using work environment measurement database (2013-2017) in Korea. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2022; 32(4):302-324. (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2022.32.4.302>)
- UK Health Security Agency(UK HSA). <Guidance> Sulphuric acid: toxicological overview. [Internet]. 2024 Oct 17 [cited 2025 Sep 24]. Available from: <https://www.gov.uk/government/publications/sulphuric-acid-properties-incident-management-and-toxicology/sulphuric-acid-toxicological-overview>

<저자정보>

정수진(연구위원), 권수현(대리), 이나루(직업건강연구실장)