

▶ 대기위해물질 사전



사단
법인 한국대기환경학회
Korean Society for Atmospheric Environment

발 간 사

사람이 일상적인 생활을 할 때 하루동안 호흡하는 공기의 양은 어림잡아 1만리터 이상으로 1.5L 페트병이 수 천개를 채울 정도의 양이다. 이는 개인의 노동 및 운동강도에 따라 훨씬 더 많은 공기 흡입이 될 수 있다. 따라서 우리가 숨쉬는 공기의 오염 정도가 낮은 수준일 지라도 흡입되는 공기의 양을 고려할 때, 건강위해 가능성을 배제할 수 없다. 이러한 건강위해 가능성을 줄이기 위한 노력이 한국대기환경학회의가 기여하고자 하는 지난 40년의 역사였다고 할 수 있다.

이번 학회 창립 40주년 기념행사의 일환으로 대기오염물질 위해정보가 수록된 책자 발간 요청을 받고 논의 끝에 책자에서 다루게 될 물질의 범위를 대기환경보전법 시행규칙에서 언급하고 있는 64종에 더하여 장거리 이동 대기오염물질에서 HAPs의 일종인 염화수소 등을 포함하는 것으로 하였다. 기술된 내용으로는 물질의 물리적 특성과 유해성, 규제정보와 배출 및 사용 현황, 그리고 인체 영향과 참고문헌을 공통적으로 담았다. 포함될 물질 및 내용 확대에 대한 의견이 있었으나 일단 40주년 행사에 맞추어 책자의 형태로 완성하는 것이 중요하다는 판단과 개정 및 증보 과정을 통해 제시된 의견을 추후 담을 수 있다는 판단하에 본래 기획한 바 대로 진행하였다.

이번 책자 발간은 한국대기환경학회 창립 40주년 기념사업 총괄위원회의에서 사업위원회 위원장인 김신도 고문의 제안으로 시작되었고, 김신도 고문님의 관심과 지원 없이는 불가능한 사업이었다고 생각된다. 본 책자의 구성은 저와 연세대학교 환경공해연구소 양지연 교수가 함께 논의한 결과이며, 내용 기술은 적은 예산에도 불구하고 환경공해연구소 연구원들이 보탬 시간과 노력으로 이루어졌다. 완성된 초고에 대한 검토와 여러 가지가 부족했을터임에도 발간을 허락해 주신 총괄위원회 위원들께도 감사를 드린다.

지난 40년간 지속적으로 국가 대기환경 관리에 관심을 가져온 것과 같이 이번 사전편찬도 학회의 발전과 더불어 일회성이 아닌 끊임없는 관심과 개정과정을 통해 학회 회원의 경험과 예지를 모아지는 틀거리 중 하나가 되기를 기대해 본다.

한국대기환경학회 인체위해성분과 위원장
고려대학교 건강영향특성화 미세먼지 연구관리센터 센터장
이 종 태

1. 입자상 물질 (Particulate Matter)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식		분자량	
끓는점		녹는점	
증기압		log Kow	
대기반감기		PBT 여부	
유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
-			

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2022-12-06	대기환경기준: 환경정책기본법	PM ₁₀ : 연간평균치 50 μ g/m ³ 이하, 24시간 평균치 100 μ g/m ³ 이하 PM _{2.5} : 연간평균치 15 μ g/m ³ 이하, 24시간 평균치 35 μ g/m ³ 이하
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	5~50mg/m ³

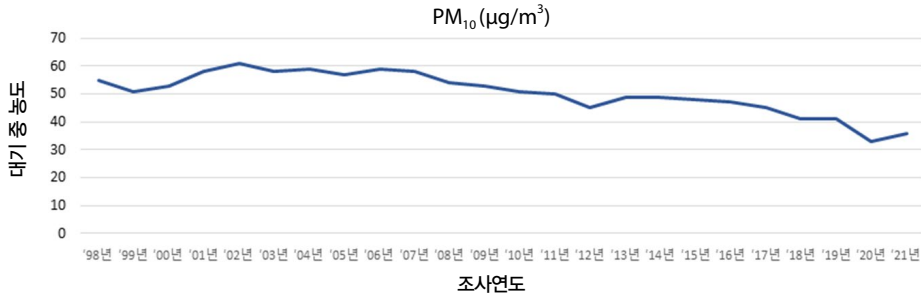
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 대기 환경 중 부유하는 입자상 물질에는 공장과 자동차 배기관에 매연, 지표에서 비산되는 분진, 광화학 반응에 의해 생성된 입자, 해역의 소금 입자, 화산 연기, 황사, 그리고 물 또는 얼음 입자로 이루어진 구름 등 여러 종류가 존재함
- ▶ 입자상 오염물질의 종류는 먼지, 분진, 에어로졸, 혼연, 미스트, 연기, 안개, 스모그, 박무, 검댕 등이 있음
- ▶ TSP (Total Suspended Particles)는 대기 중 부유 상태에 있는 총 먼지의 양으로 주요 배출원은 화석 연료를 사용하는 각종 연소시설 및 소각시설, 열처리 시설, 석유정제 및 석유화학제품 제조시설 중 소성, 건조, 가역 및 탈황시설, 비포장도로 및 나대지, 석탄 및 연탄 제조시설 등에서 발생됨
- ▶ 입자상 물질은 입자의 크기에 따라 구분하며, 입경 10 μ m 미만의 입자는 미세먼지(PM₁₀), 지름 2.5 μ m 미만 입자는 초미세먼지(PM_{2.5})로 구분하여 정의함
- ▶ 미세먼지의 배출원인으로서 인위적 발생의 원인은 중국발 미세먼지, 자동차 배기가스, 공장 매연, 쓰레기 소각, 항만 지역, 가정에서 생선이나 그 외의 것을 구울 때 등이 있으며, 자연

발생 원인은 모래바람의 먼지, 화산재, 산불이 일 때 발생하는 먼지 그리고 해염 입자 또한 바다 가까이에 위치한 지역에는 많은 영향이 발생함

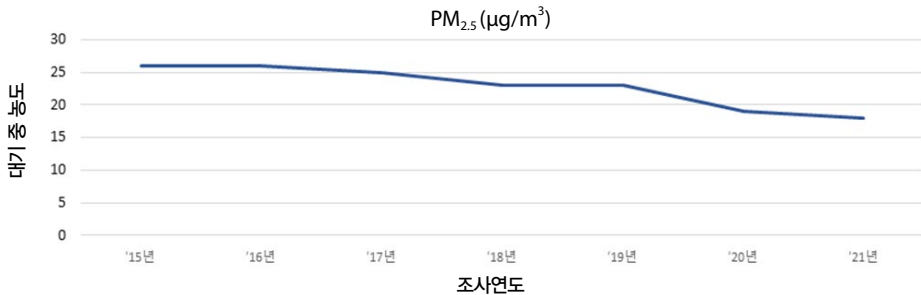
(4) 배출량 정보

- ▶ 1998년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 대기 중 PM₁₀의 평균 농도는 50±7 (33~61) µg/m³임(한국환경공단, 2021)



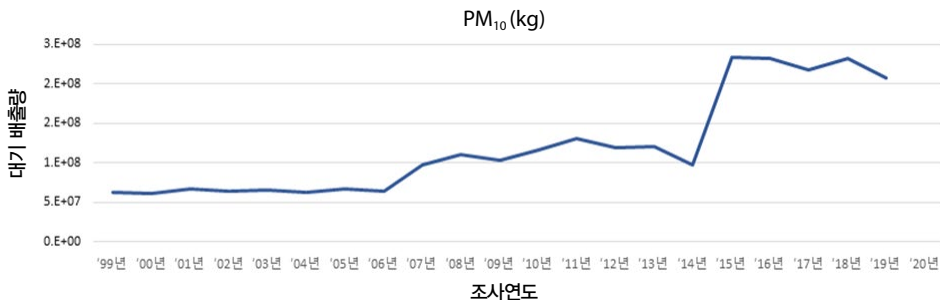
〈연도별 대기 중 PM₁₀ 농도 변화〉

- ▶ 2015년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 대기 중 PM_{2.5}의 평균 농도는 23±3 (18~26) µg/m³임(한국환경공단, 2021)



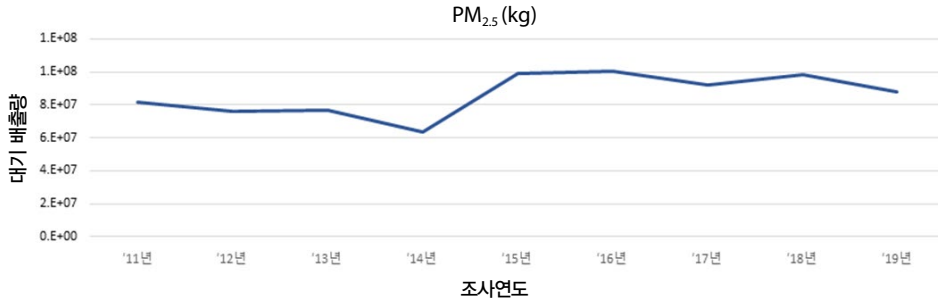
〈연도별 대기 중 PM_{2.5} 농도 변화〉

- ▶ 1999년부터 2019년까지 평균 121,149,571kg/년의 PM₁₀이 배출되었음 (자료 출처: 국가미세먼지정보센터, 환경부)



〈연도별 대기 중 PM₁₀ 배출량 변화〉

- ▶ 2011년부터 2019년까지 평균 86,106,444kg/년의 PM_{2.5}가 배출되었음
(자료 출처: 국가미세먼지정보센터, 환경부)



〈연도별 대기 중 PM_{2.5} 배출량 변화〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 발생한 먼지는 공기 중에 부유 상태로 존재하면서 호흡을 통해 인체에 침입하여 기관지 폐에 부착되고, 이들 입자 중 일부는 기침, 재채기, 섬모운동 등에 의하여 제거되나 일부는 허파 파리 등에 침착·축적되어 인체에 유해한 영향을 미침
- ▶미세먼지(PM₁₀)는 피부와 눈, 코 또는 인후 점막에 직접 접촉해 물리적 자극과 국소 염증 반응을 유발하며 조직 및 세포 독성의 기전으로 산화 스트레스의 증가가 가장 대표적이며, 염증 반응에 의한 손상 및 DNA 손상이 발생함
- ▶초미세먼지(PM_{2.5})의 경우 허파 파리까지 침투해 기관지와 폐에 쌓여 각종 호흡기 질환의 직접적인 원인이 되어 몸의 면역 기능을 떨어뜨리고, 혈관으로도 들어가 심혈관 질환을 일으킬 수 있음
- ▶어린이의 경우 폐를 비롯한 장기의 발달이 아직 다 이뤄지지 않아 미세먼지가 어린이의 폐 등 장기 발달 및 성장을 저해할 수 있음
- ▶미세먼지는 폐렴, 폐암 발생 증가와 폐 기능을 저하시키고 만성 호흡기 질환자의 증상을 악화시키며, 특히 만성폐쇄성폐질환(COPD)의 급성 악화를 유발할 수 있음
- ▶장기간 초미세먼지에 노출 시, 농도가 10 μ g/m³ 증가할 때마다 심장질환 및 폐 질환으로 인한 사망률이 6~13% 증가함(WHO, 2013)
- ▶미세먼지 농도가 10 μ g/m³ 증가할 때마다 만성폐쇄성폐질환(COPD)으로 인한 입원율이 2.7%, 사망률은 1.1% 증가하고 초미세먼지 농도가 10 μ g/m³ 증가할 때마다 폐암 발생률이 9% 증가함(질병관리본부, 2014)

참고문헌

- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- 한국환경공단, 2021
- 국가미세먼지정보센터, 환경부
- WHO, 2013
- 질병관리본부, 2014

2. 브롬 및 그 화합물 (Bromine Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Br ₂	분자량	159.81
끓는점	58.8°C	녹는점	-7.25°C
증기압	212mmHg at 25°C	log Kow	1.03
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성독성-흡입	2 (위험)	H330	흡입하면 치명적임
피부 부식성/자극성	1 (위험)	H314	피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	3mg/m ³
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

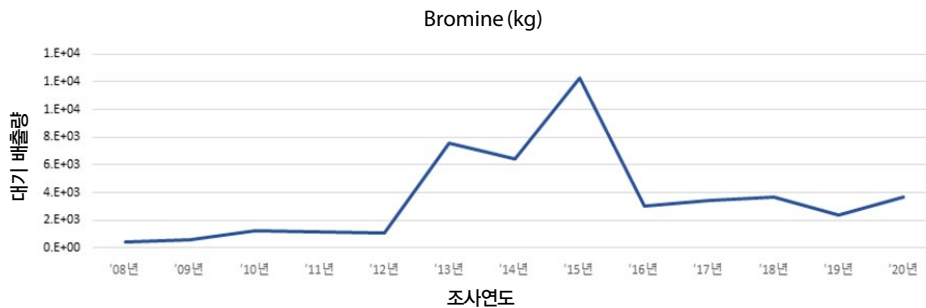
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 브롬은 저농도로 지구상에 널리 분포하는 원소로, 지각 전체에 걸쳐 용해성 및 불용성 브롬 화물로 분산되어 있음
- ▶ 브롬 원소의 주요 사용은 화학적 및 생물학적 활동성, 고농도 또는 화재 지연 및 소화 속성을 가지는 브롬 화합물의 생산임
- ▶ 일부 농축은 해수, 사해, 일부 온천, 드물게 불용성인 브롬화는 광물에서 일어나며, 다양한 브롬 함유 물질의 합성에 사용됨
- ▶ 브롬 원소, bromine monochloride, hypobromous acid 및 bromodimethylhydantoin은 수영장에서 염소를 대체하기 위해 사용됨
- ▶ 난연제, 농약, 염료, 사진, 위생, 살충제, 의약품, 표백 섬유 및 비단의 용도로 많은 분야에 쓰임
- ▶ 상업 시설, 병원 및 가정과 같은 실내, 비음식 접촉 지역의 일반적인 소독제 및 살균제로 사용되어 박테리아와 곰팡이를 제거함

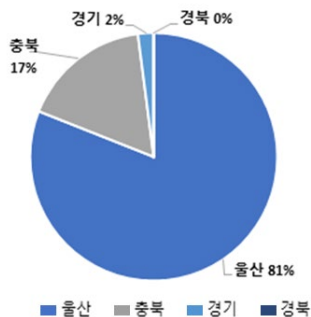
- ▶ 고온에서 분해되어 독성가스를 생성할 수 있으며, 일부 금속과 접촉 시 가연성 수소가스를 생성할 수 있음

(4) 배출량 정보

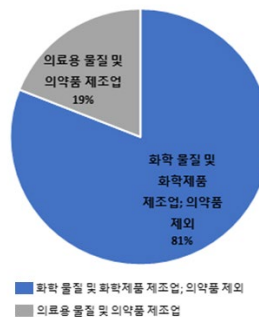
- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 3,614kg/년의 브롬이 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 브롬 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 흡입 후 폐에 흡수되며 폐에서의 침전은 주로 브롬의 수용성에 의해 결정됨 (IPCS, 1999)
- ▶ 강한 산화제로 눈과 피부에 화상과 함께 심한 호흡기 자극을 일으킴
- ▶ 결정성 브롬 발진으로 알려진 드문 피부 발현이 있으며, 이론적으로 저농도 브롬 농도의 만성 흡입과 관련됨 (IPCS INCHEM, 2007)
- ▶ 저농도 노출 시 눈물, 콧물, 경구 인두 및 위기도의 점액 분비물로 인한 눈 자극, 기침, 호흡 곤란, 질식 등 상부 호흡기에 심한 자극이 유발됨
- ▶ 중추신경계 억제제로 작용하여 현기증, 불안, 언어장애, 기억손상 및 집중력 감소를 일으킬 수 있음

- ▶ 급성 폐부종, 질식, 폐렴, 부종으로 인한 상기도 폐색 등의 전신적 영향을 미칠 수 있음
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA(Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) 0.1ppm(0.65mg/m³), STEL(short-term exposure limit) 0.3ppm(2mg/m³)
- ▶ ACGIH(The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 브롬 및 그 화합물의 TLV(Threshold Limit Value) - 8시간 TWA: 0.1ppm
- ▶ ACGIH 노출 한계에서의 브롬 및 그 화합물의 TLV-STEL: 0.2ppm
- ▶ OSHA(the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 브롬 및 그 화합물의 PEL(Permissible Exposure Limit) TWA: 0.1ppm(0.7mg/m³)
- ▶ NIOSH(National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 브롬 및 그 화합물의 REL(Recommended exposure limit) TWA: 0.1ppm(0.7mg/m³)
- ▶ NIOSH(National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 브롬 및 그 화합물의 REL-STEL: 0.3ppm(2mg/m³)
- ▶ 인간의 급성 흡입 독성 데이터에 기초한 NIOSH의 표적 장기 및 IDLH(Immediately dangerous to life and health): 호흡기계, 눈, 중추신경계, 피부, 3ppm
- ▶ 바륨 흡입 노출 후 동물의 호흡기 영향에 대한 연구는 3.6mg/m³ 바륨에 노출된 rat에서의 폐 병변 관찰(Tarasenko *et al.*, 1977)과 에어로졸화 염화바륨 용액 0.06mg/m³/min 흡입 후 기관지 수축이 관찰된 것으로 보고됨(Hicks *et al.*, 1986)
- ▶ 급성독성 - 증기 흡입 2시간 LC₅₀(Lethal concentration 50% kill): mouse 1569mg/m³(PHE, 2009)
- ▶ 7시간 동안 23ppm의 브롬 증기에 노출된 cats, rabbits, guinea pigs는 호흡기에 약간의 자극을 보였고, 180ppm에 중추신경계 장애가 관찰됐으며 LOAEL(The lowest observed adverse effect level)은 23ppm으로 확인됨(Bingham *et al.*, 2001)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- 「대기오염물질배출량」, 환경부
- IPCS, 1999
- IPCS INCHEM, 2007
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- Tarasenko *et al.*, 1977
- Hicks *et al.*, 1986
- PHE, 2009
- Bingham *et al.*, 2001

3. 알루미늄 및 그 화합물 (Aluminium Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Al	분자량	26.98
끓는점	2450°C	녹는점	660°C
증기압	1mmHg at 1284°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
가연성 고체	2 (경고)	H228	가연성 고체
피부 부식성/자극성	2 (경고)	H315	피부에 자극을 일으킴
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
특정표적 장기독성-1회 노출	3 (경고)	H335	호흡계 자극을 일으킬 수 있음

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기준화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

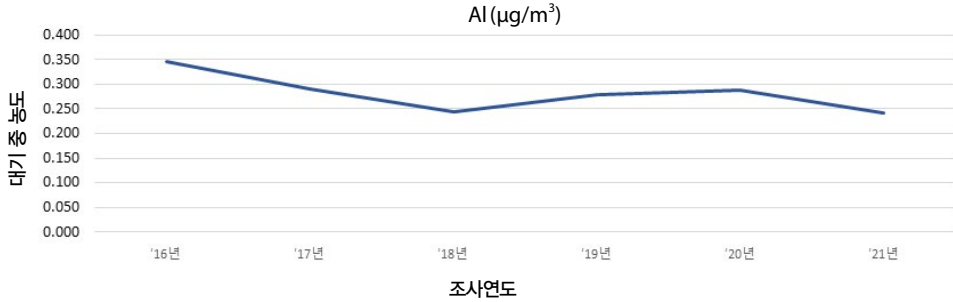
- ▶ 지각에서 풍부한 금속으로 자연에서 거의 발견되지 않고, 대부분 바위에서 발견됨
- ▶ 알루미늄은 건설 자재 제작, 포장, 교통수단, 전기자재, 치과용 합금, 단열재 등으로 사용됨
- ▶ Bauxite는 다양한 알루미늄 규산염, 산화철, 실리카, 티타니아 및 미량의 기타 불순물 외에 하나 이상의 알루미늄 수산화물 광물로 구성된 자연적으로 발생하는 이종 물질임
- ▶ 염화알루미늄은 산 촉매, 석유의 분해, 고무 및 윤활제 제조, 억제제로 사용되며 헥사하이드레이트 형태는 목재 보존, 소독, 탈취제, 방부제, 식물 염색 및 양피지 제조에 사용됨
- ▶ 대기 알루미늄의 약 13%는 인위적 배출에 기인하며, 입자상 물질을 포함하는 알루미늄 주요 인공공급원은 석탄 연소, 생산 및 지각 광물을 처리하는 제련 등의 산업활동을 포함함

(4) 배출량 정보

- ▶ 대기 중 알루미늄의 농도는 일반적으로 0.005~0.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위임 (Hoffman *et al.*, 1969; Pötl, 1970; Sorenson *et al.*, 1974)

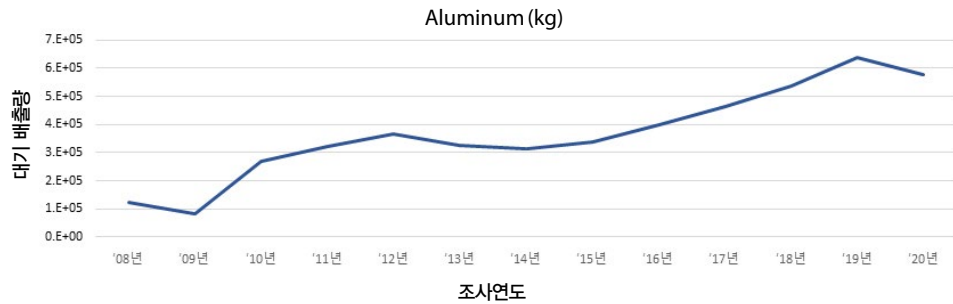
대기위해물질 사전

- ▶ 철, 강철 주조 공장과 황동 및 청동 정유 공장에서 배출되는 공기 입자의 알루미늄 농도는 약 100~1000ppm임(Lee and Von Lehmden, 1973)
- ▶ 2016년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 대기 중 알루미늄의 평균 농도는 0.269 ± 0.114 ($0.242 \sim 0.290$) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 임(한국환경공단, 2021)

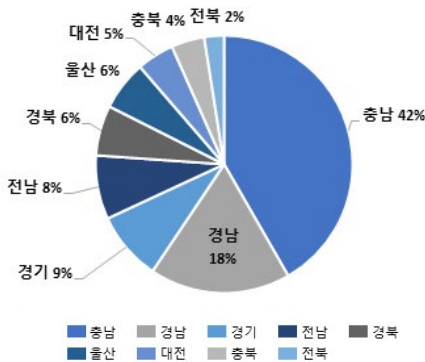


〈연도별 대기 중 알루미늄 농도 변화〉

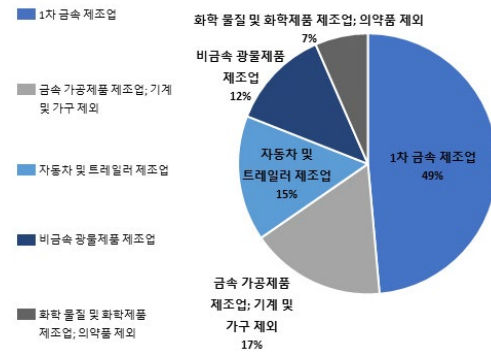
- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 366,432kg/년의 알루미늄이 배출되었음(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 알루미늄 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 알루미늄의 분진 또는 분말은 폐 및 눈에 경미한 자극을 유발할 수 있음
- ▶ 면직 공장에서 젖은 실패를 감을 때 알루미늄과 장시간 접촉 시 말단 감각 마비, 손가락 저림이 보고됨(Hamilton, A., Hardy, H.L., 1974)
- ▶ 알루미늄을 함유한 먼지나 연기에 만성적으로 노출된 근로자 중 일부는 섬유증, 폐기종 및 기흉을 비롯한 심한 폐 질환을 일으킴(Gosselin, R.E., Smith, R.P., Hodge, H.C., 1984)
- ▶ 특정 먼지는 단순 진폐증에서 나타나는 국소 결절성 병변보다는 간질성 섬유화 질환을 유발하며, 섬유성 병변은 먼지가 많은 대식세포의 존재에 비례하여 나타남(Ellenhorn, M.J., Barceloux, D.G., 1988)
- ▶ 공장에서 알루미늄 금속 분말 입자 흡입 시 치매, 경련으로 이어지는 진행성 뇌병증을 유발하였고, 뇌는 독특한 세포 변화, 신경원섬유 변성을 보임(Venugopal, B., Luckey, T.D., 1978)
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) 금속분진 10mg/m³, 용접 흄, 피로파우더 5mg/m³
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 알루미늄 및 그 화합물의 TLV (Threshold Limit Value) - TWA: Respirable Particulate Matter 1mg/m³
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 알루미늄 및 그 화합물의 PEL (Permissible Exposure Limit) TWA: Total dust 15mg/m³, Respirable fraction 5mg/m³
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 알루미늄 및 그 화합물의 REL (Recommended exposure limit) TWA: Total dust 10mg/m³, Respirable fraction 5mg/m³
- ▶ NIOSH의 표적 장기: 눈, 피부, 호흡기계
- ▶ 독성 수치 - 4시간 에어로졸 흡입에 의한 LC₅₀ (Lethal concentration 50% kill): rats 0.888mg/L (Thomson, S.M. *et al.*, 1986)
- ▶ 독성 수치 - 4시간 에어로졸 흡입에 의한 NOAEC (no observed adverse effect concentration): rats 10mg/m³ (Thomson, S.M. *et al.*, 1986)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- Hoffman *et al.*, 1969; Pötlz, 1970; Sorenson *et al.*, 1974
- Lee and Von Lehmden, 1973
- 한국환경공단, 2021
- 「대기오염물질배출량」, 환경부
- Hamilton, A, Hardy, H.L., 1974
- Gosselin, R.E., Smith, R.P., Hodge, H.C., 1984
- Ellenhorn, M.J., Barceloux, D.G., 1988
- Venugopal, B., Luckey, T.D., 1978
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- Thomson, S.M. *et al.*, 1986

4. 바나듐 및 그 화합물 (Vanadium Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	V	분자량	50.94
끓는점	3407°C	녹는점	1910°C
증기압	2.34×10^{-2} mmHg at 1916°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-
유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
-			

(2) 규제정보

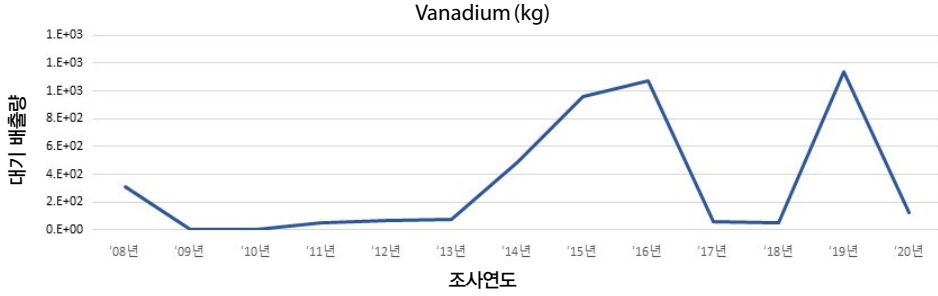
고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

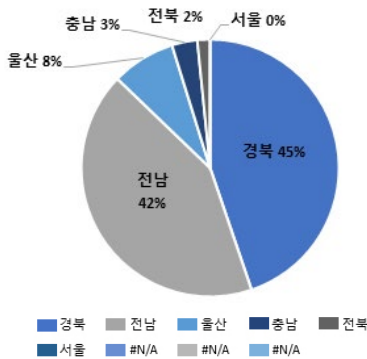
- ▶ 바나듐은 철, 티타늄 등 여러 합금의 원료로 사용되며 녹을 방지하는 효과가 있음
- ▶ 녹 방지, 스프링 및 고속 공구강을 생산하는 데 사용되며 강철을 만드는 데 중요한 탄화물 안정제임
- ▶ 대륙 먼지, 해양 에어로졸 및 화산 배출과 같은 자연적 오염원에 의해 환경으로 유입됨
- ▶ 석유 화력 발전소, 정유소 및 산업용 보일러의 중연료 연소와 석탄은 대기 중 바나듐의 인위적 배출의 주요 원인임

(4) 배출량 정보

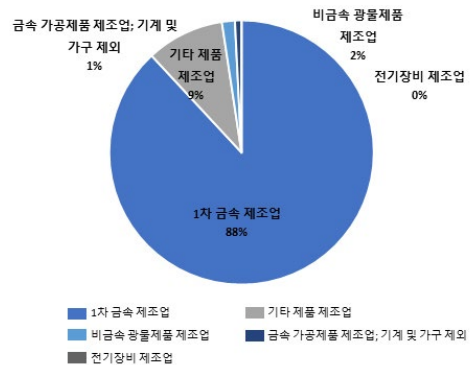
- ▶ 대기 중 바나듐의 자연적 농도는 $0.00002 \sim 0.0019 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 임(NAS, 1974)
- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 341kg/년의 바나듐이 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 바나듐 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 호흡에 의해 폐를 통해 체내로 흡수되며 불용성 금속의 형태일 경우 일부 용해성 화합물만 부분적으로 흡수됨
- ▶ 바나듐을 생산하거나 사용하는 지역 근로자의 경우 만성 중독증을 보이며 신경 장애, 영양 장애, 가슴 두근거림, 기외수축, 빈혈, 백혈병과 같은 혈액에서의 변화, 콜레스테롤 수준의 감소 등을 유발하며 호흡기관에 장애를 초래함
- ▶ 호흡 가능한 먼지와 바나듐 연기 형태로의 장기간 노출은 잠재적 증상을 야기하며 중독의 증상으로는 눈과 목의 자극, 인후통, 기관지염, 복부 경련 등이 있음
- ▶ 급성으로 과량 투여 시 두통, 중추신경계 저하, 구강 건조, 복통, 설사, 안구 자극, 비염, 폐, 비장, 신장, 내장의 수축, 피부염이 있음(Lelkin, J.B., Paloucek, F.P., 1988)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 오산화바나듐의 TLV (Threshold Limit Value) - TWA (Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준): Respirable Particulate Matter 0.05mg/m³
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 브롬 및 그 화합물의 REL (Recommended exposure limit) 15분 ceiling: Vanadium compounds 0.05mg/m³, REL은 바나듐 금속 및 바나듐 탄화물을 제외한 모든 바나듐 화합물에 적용됨

- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 브롬 및 그 화합물의 REL-STEL (short term exposure limit): $3\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ NIOSH의 표적 기관 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 눈, 피부 및 호흡기계, $35\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ 독성 수치 - 오산화바나듐 4시간 dust 흡입에 의한 LC_{50} (Lethal concentration 50% kill): rats $11.09\text{mg}/\text{L}$ (ECHA, Unnamed, 1991)

참고문헌

- NAS, 1974
- 「대기오염물질배출량」, 환경부
- Lelkin, J.B., Paloucek, F.P., 1988
- ECHA, Unnamed, 1991

5. 망간화합물 (Manganese Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Mn	분자량	54.94
끓는점	1962°C	녹는점	1245°C
증기압	1mmHg at 1292°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
가연성 고체	2 (경고)	H228	가연성 고체
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (위험)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
수생환경 유해성, 장기간 (만성)	만성2	H411	장기적 영향에 의해 수생생물에 유독함
수생환경 유해성, 장기간 (만성)	만성3	H412	장기적 영향에 의해 수생생물에 유해함

(2) 규제정보

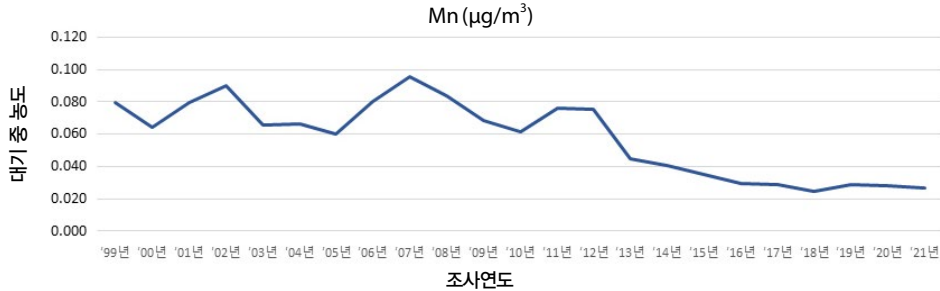
고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기준화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 망간은 암석과 토양에 자연적으로 발생되며 수질, 공기, 토양, 식물체에 낮은 농도로 분포되어 있음
- ▶ 금속 망간은 강철 생산에서 경도, 강성 및 강도를 향상시키기 위해 사용되며 카본 스틸, 스테인레스 스틸, 고온 스틸, 주철, 초합금에 사용됨
- ▶ 합금용 망간은 주철, 초합금과 함께 탄소강, 스테인레스강, 공구강 등에 사용됨
- ▶ 염화 망간은 유기 화합물의 염소화, 동물 사료 및 건전지 배터리에서 촉매로 사용되며, 황산 망간은 비료, 가축 영양 보충제, 유약 및 바니시, 세라믹 등에 사용됨
- ▶ 과망간산칼륨은 하수처리시설의 수질 정화 목적으로 사용됨
- ▶ 철의 형태로 공기 중에 나오며 철강 시설, 파워 플랜트, 코크스 오븐에서 배출됨
- ▶ 철광석과 석탄, 원유에 함유되어 있고 철합금 생산과정과 다른 공업과정에서 대기 중으로 방출되며 원광을 녹이는 과정과 화석 연료의 연소 시 배출됨

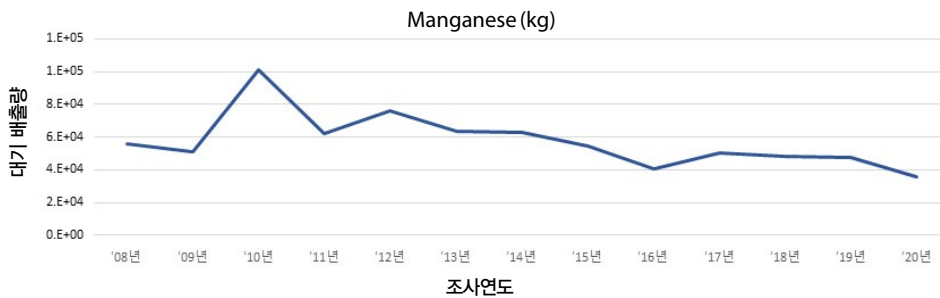
(4) 배출량 정보

- ▶ 1999년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 대기 중 망간의 평균 농도는 0.058 ± 0.023 ($0.025 \sim 0.095$) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 임 (한국환경공단, 2021)

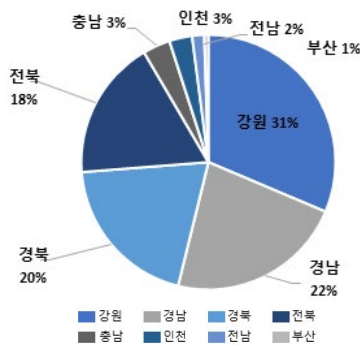


〈연도별 대기 중 망간 농도 변화〉

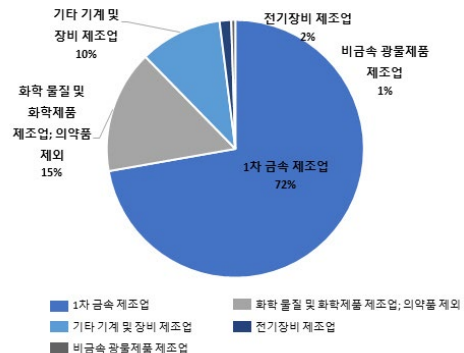
- ▶ 2008년부터 2021년까지 평균 57,745kg/년의 망간이 배출되었음 (자료 출처: 「대기오염물질 배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 망간 배출량 변화〉



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 망간은 인체에 있어서 필수 물질 중 하나로 결핍될 경우 정상적 신체 기능을 유지하는 데 문제가 발생하나 지나칠 경우 정신 장애를 유발하고 외부 자극에 대한 반응 속도가 떨어지는 등 중추신경계에 악영향을 가져올 수 있음
- ▶ 급성으로 과량 투여 시 두통, 중추신경계 저하, 구강 건조, 복통, 설사, 안구 자극, 비염, 폐, 비장, 신장, 내장의 수축, 피부염이 있음(Lelkin, J.B., Paloucek, F.P., 1988)
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) 망간 및 무기화합물·흡 1mg/m³, STEL (Short Term Exposure Limit) 흡 3mg/m³
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 망간과 무기화합물류의 TLV (Threshold Limit Value) - TWA: 0.2mg/m³
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 망간화합물 흡의 TLV-STEL (short-term exposure limit): 3mg/m³
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 망간 화합물류와 흡의 PEL (Permissible Exposure Limit) TWA: 1mg/m³
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 망간 화합물류와 흡의 PEL-STEL: 3mg/m³
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 망간 화합물류와 흡의 REL (Recommended exposure limit) TWA: 1mg/m³
- ▶ NIOSH 노출 한계에서의 망간 화합물류와 흡의 REL-STEL: 3mg/m³
- ▶ NIOSH의 표적 기관 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 호흡기계, 중추신경계, 혈액, 신장, 500mg/m³
- ▶ 망간을 rats에 5.14mg/L의 농도로 4시간 동안 흡입 노출한 결과, 평균 달성 대기 농도 5.14mg/L에 노출된 10마리 군에서 사망이 발생하지 않아 rats에서 망간의 급성 흡입 LC₅₀ (Lethal concentration 50% kill)은 5.14mg/L보다 큰 것으로 간주됨(ECHA, Unnamed, 2010)
- ▶ EPA IRIS (Integrated Risk Information System)의 호흡 노출에 대한 신경행동기능장애: RfC=5 × 10⁻⁵ per mg/m³ (Roels *et al.*, 1992)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	POD	Composite UF
신경계	5 × 10 ⁻⁵	신경행동기능장애	LOAEL (HEC): 5 × 10 ⁻² mg/m ³	1000

RfC (Reference Concentration), POD (Point of Departure), LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level), UF (Uncertainty Factor)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 한국환경공단, 2021
- 「대기오염물질배출량」, 환경부
- Lelkin, J.B., Paloucek, F.P., 1988
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- ECHA, Unnamed, 2010
- Roels *et al.*, 1992

6. 철 및 그 화합물 (Iron Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Fe	분자량	55.85
끓는점	2861°C	녹는점	1538°C
증기압	1mmHg at 1787°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 고체	1 (위험)	H228	인화성 고체
자기발열성 물질 및 혼합물	1 (위험)	H251	자기 발열성; 발화할 수 있음
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

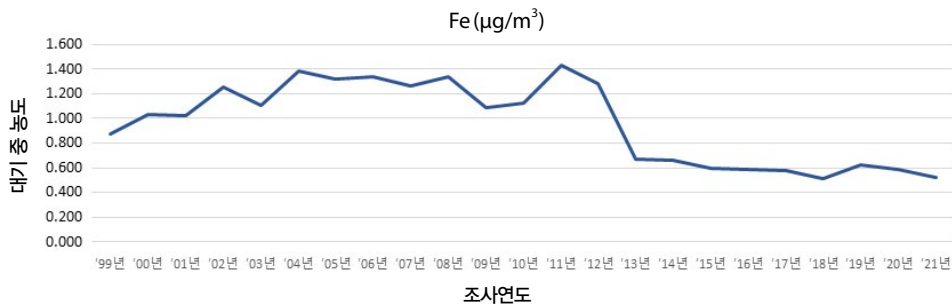
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 철은 헤모글로빈 합성뿐만 아니라 효소의 구조, 세포 성장 및 증식, 면역 체계, 신체 화학적 상호 작용에서의 전자 전달에 있어 필수적인 금속임 (Gurzau, E.S., Neagu, C., Gurzau, A.E., 2003)
- ▶ 석탄의 바닥에서 분출된 현무암에서 소량으로 존재하며, 많은 무기화합물과 유기 금속화합물을 형성함
- ▶ 암모니아 합성의 촉매로 사용되거나 탄소, 망간, 크로뮴, 니켈 및 다른 금속 형태의 물질과 강철 합금을 만드는 데 사용됨
- ▶ 철분 결핍성 빈혈 예방 및 치료와 임신 중 식이 보충제로 사용됨
- ▶ 산화철은 페인트와 플라스틱의 착색제로 사용되며, 여러 종류의 철염은 수처리의 응집제로 사용됨
- ▶ 자성 산화철 나노 입자는 표적 약물 전달 및 MRI 영상을 포함한 생물 의학적 응용을 가짐
- ▶ 화력 발전소나 소각장으로부터의 배출로 인해 대기 중에 낮은 농도로 존재함

- ▶ 산업장에서 철은 주로 산화물의 형태로 배출되며, 녹이라 불리는 산화철은 흙이나 주조물과 용접 공정에서 생성되는 철의 미세분진에 의해 형성됨
- ▶ 철광물을 제련하거나 다룰 때 실리콘 다이옥사이드와 산화철의 분진에 의해 노출됨

(4) 배출량 정보

- ▶ 1999년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 대기 중 철의 평균 농도는 0.965 ± 0.331 ($0.510 \sim 1.434$) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 임(한국환경공단, 2021)



〈연도별 대기 중 철 농도 변화〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 위장 기관계를 통한 철의 섭취 및 흡수는 필수적 요소로 헤모글로빈과 다른 철 함유 단백질의 합성에 절대적으로 필요한 성분이지만, 호흡기계를 통한 먼지 및 흙의 형태로 흡입 독성을 나타냄
- ▶ 눈과 접촉 시 자극되고 먼지나 농축된 액적은 코, 목, 기관지를 자극하며 고농도 노출 시 두통을 초래하여 호흡 곤란과 폐를 자극함
- ▶ 철분 섭취는 위장관 점막에 직접적인 가성 손상을 일으켜 메스꺼움, 구토, 복통, 설사를 유발할 수 있음
- ▶ 철분 과다복용은 6세 미만 어린이들의 중독 사망의 주요 원인 중 하나임(Yuen, H.W., Gossman, W.G., 2017)
- ▶ 세포 수준에서 철분은 심장, 간, 중추신경계의 세포 대사를 손상시킴
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) $1\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 산화철 분진 및 흙의 TLV (Threshold Limit Value) - TWA: Respirable Particulate Matter $5\text{mg}/\text{m}^3$

- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 산화철 분진 및 흙의 PEL (Permissible Exposure Limit) TWA: $10\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 산화철 분진 및 흙의 REL (Recommended exposure limit) TWA: $5\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ NIOSH의 표적 기관 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 호흡기계, $2500\text{mg}/\text{m}^3$

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- Gurzau, E.S., Neagu, C., Gurzau, A.E., 2003
- 한국환경공단, 2021
- Yuen, H.W., Gossman, W.G., 2017
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정

7. 아연 및 그 화합물 (Zinc Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Zn	분자량	65.39
끓는점	907°C	녹는점	420°C
증기압	1×10^{-8} mmHg at 127°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
자연발화성 고체	1 (위험)	H250	공기에 노출 시 스스로 발화함
물반응성 물질 및 혼합물	1 (위험)	H260	물과 접촉 시 자연 발화성의 인화성 가스를 방출함
수생환경 유해성, 단기간 (급성)	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성, 장기간 (만성)	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	4mg/m ³
2014-12-30	기준화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 아연은 부식을 방지하기 위한 금속 코팅, 철의 도금 및 합금에 주로 사용됨
- ▶ 아연과 구리를 포함한 합금류는 미국의 1센트 동전을 만드는데 사용됨
- ▶ 가장 많이 사용되는 화합물로 산화아연은 고무의 백색 착색에 사용됨
- ▶ 경구용 아연은 사람의 아연 결핍 시 처방으로 사용되며, 카르바민산 아연은 살충제로 사용됨
- ▶ 아연 금속의 분진은 페인트 코팅, 촉매, 유기 및 분석 화학에서 환원 및 침전제 시약으로서 광범위하게 사용됨
- ▶ 전기기구(건전지), 가정용품, 주조, 인쇄용 판, 건축 자재, 자동차 장비에 사용됨
- ▶ 아연 광물 폭파와 분쇄 시의 배출과 제련 과정에서 대기로 다량 배출됨
- ▶ 아연 제련, 아연 산화물 및 분말의 제조, 아연 철판의 녹쇠 및 용융 제품의 생산으로 인한 아연 흡 노출이 있음

(4) 배출량 정보

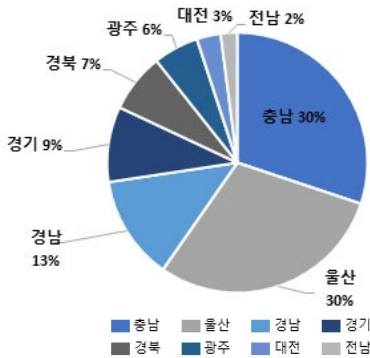
▶ 2001년 미국의 전기 발전 산업현장에서 아연 먼지 및 연기 413ton과 아연화합물 2,909ton이 방출되는 것으로 추정됨(TRI02, 2004)

▶ 2008년부터 2020년까지 평균 153,768kg/년의 아연이 배출되었음

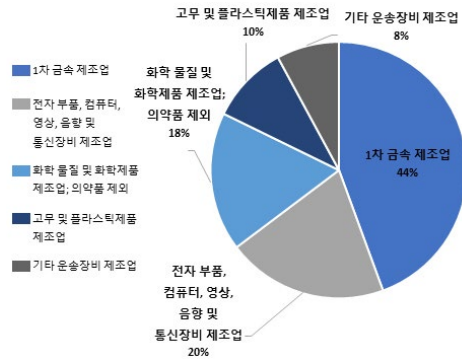
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 아연 배출량 변화〉



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

▶ 사람에게 영양소로서의 중요성이 보고되었지만, 사고나 식이 보충 등 고의적 아연염 과다 섭취 시 급성 중독증을 일으킬 수 있음

▶ 아연을 고온처리할 때 생산되는 산화아연의 연기를 흡입한 환자들이 오심과 구토, 오한과 열, 근육통과 쇠약함을 호소함(Gossel, T.A., 1994)

▶ 2g 또는 그 이상의 아연을 단기간 내에 투여하였을 때 위장관 손상과 구토 증상이 나타나며, 지속적인 아연의 투여는 혈중 구리의 농도를 감소시키고 철적혈구빈혈과 백혈구 감소증을 유발함(Haddad, 1998)

- ▶ 혈중 구리와 아연 간에는 상호관계가 있으며, 월슨씨 병 환자에게 고농도의 아연을 투여하면 혈중 구리의 농도가 감소함(Klaassen, 2001)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 아연 및 그 화합물의 TLV (Threshold Limit Value) - TWA (Time Weighted Average): 2ppm
- ▶ ACGIH 노출 한계에서의 아연 및 그 화합물의 TLV-STEL (short-term exposure limit): 4ppm
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 아연 및 그 화합물의 PEL (Permissible Exposure Limit) TWA: 2ppm (5mg/m³)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 아연 및 그 화합물의 REL (Recommended exposure limit) TWA: 2ppm (5mg/m³)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 아연 및 그 화합물의 REL-STEL: 4ppm (10mg/m³)
- ▶ NIOSH의 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 25ppm
- ▶ 독성 수치 - 공기 흡입에 의한 NOAEL (no observed adverse effect level): guineapig 2.7mg/m³ (Lam, H.F. *et al.*, 1988)
- ▶ 독성 수치 - 4시간 dust 흡입에 의한 LC₅₀ (Lethal concentration 50% kill): rat, >5410mg/kg (ECHA, Unnamed, 1996)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- TRI02, 2004
- 「대기오염물질배출량」, 환경부
- Gossel, T.A., 1994
- Haddad, 1998
- Klaassen, 2001
- Lam, H.F. *et al.*, 1988
- ECHA, Unnamed, 1996

8. 셀렌 및 그 화합물 (Selenium Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Se	분자량	78.96
끓는점	685°C	녹는점	221°C
증기압	> 0.001mmHg at 20°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성독성-경구	3 (위험)	H301	삼키면 유독함
급성독성-흡입	3 (위험)	H331	흡입하면 유독함
특정 표적장기 독성-반복 노출	2 (경고)	H373	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킬 수 있음
수생환경 유해성 만성	2	H411	장기적 영향에 의해 수생생물에 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2021-06-22	유독물질: 국립환경과학원고시 제2021-36호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

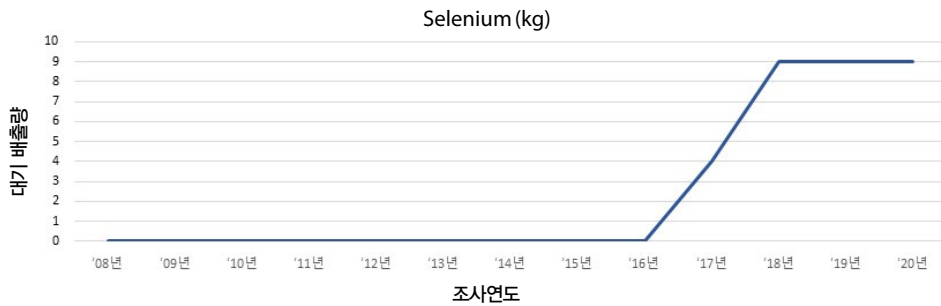
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 화산 중 황과 결합하여 존재해 화산 근처의 토양에는 풍부한 셀레늄이 포함되어 있으며 석탄에도 유기 셀레늄의 형태로 다량 존재함
- ▶ 지표면에 많이 분포하고 있으며 가장 큰 용도는 유리 첨가제로 사용됨
- ▶ 일부 셀레늄 화합물은 유리를 탈색해 건축 유리의 햇빛 투과를 줄이는 데 사용되며, 일부는 적색을 띠어 도자기, 페인트, 플라스틱의 색소를 만드는 데 사용됨
- ▶ 광전지 작용 및 광전도 작용을 모두 가지고 있어 광전지, 태양전지, 복사기에 유용하며 교류 전기를 직류로 변환할 수 있어 정류기에 광범위하게 사용됨
- ▶ 셀레늄은 비듬을 일으키는 두피 곰팡이에 독성이 있어 일부 비듬 방지 샴푸에 사용됨
- ▶ 인위적 오염원으로 다양한 산업체에서 소량의 셀레늄이 대기 중으로 배출됨
- ▶ 고무 타이어, 종이 및 도시 폐기물의 소각은 대기 중 셀레늄의 추가적인 공급원임

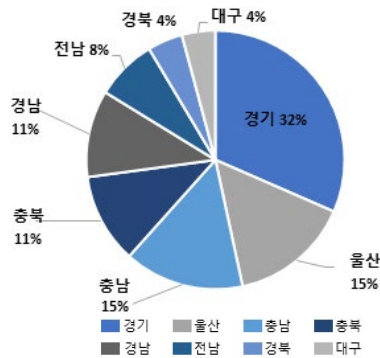
- ▶ 화석 연료를 태우는 과정에서 셀레늄이 배출되며 주로 석탄을 원료로 사용하는 공장에서 고농도로 발생함

(4) 배출량 정보

- ▶ 1969~1971년, 1978년, 1983년 미국의 연간 셀레늄 대기 배출량은 각각 900, 1240, 1560ton 이었음(EPA, 1974; Lee, Dufield, 1979)
- ▶ 도시 고체 폐기물의 연소는 폐기물 톤당 0.44~0.98g의 셀레늄을 굴뚝으로 배출함(Johnson, 1970)
- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 2kg/년의 셀레늄 및 그 화합물이 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 셀레늄 배출량 변화〉



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 셀레늄이 많이 농축된 식물을 섭취한 동물에서 시각 장애, 식욕 저하 등의 증상이 나타났으며 마비의 여러 단계 증상을 보임

- ▶ 작업환경에서 일부 셀레늄 이산화물을 포함하는 분진에 대한 급성 흡입 노출은 코와 목의 점막 자극, 기침 유발에 의한 코피, 후각 기능 상실을 초래하고, 심하게 노출된 근로자에게서는 호흡 장애, 기관지 경련, 기관지염, 폐렴을 야기함(U.S. Dept Health & Human Services/ Agency for Toxic Substances & Disease Registry, 2003)
- ▶ 셀레늄, 아셀레늄산 나트륨, 셀레늄산 나트륨 또는 셀레늄 이산화물에 대한 장기간 노출 시 창백, 설태, 위장장애, 신경과민, 금속 맛을 유발할 수 있음(Mackison, F.W., 1981)
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) 0.2mg/m³
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 셀레늄 및 그 화합물의 TLV (Threshold Limit Value) - 8시간 TWA: 0.2mg/m³
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 셀레늄 및 그 화합물(Selenium hexafluoride은 제외)의 PEL (Permissible Exposure Limit) TWA: 0.2mg/m³
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 셀레늄 및 그 화합물(Selenium hexafluoride은 제외)의 REL (Recommended exposure limit) TWA: 0.2mg/m³
- ▶ NIOSH의 표적 장기 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 눈, 피부, 호흡기, 간, 신장, 혈액, 비장, 1mg/m³
- ▶ 4시간 동안 hydrogen selenide 흡입에 의해 guinea pigs는 지방 변성, 간 무게 증가, 간선염이 나타났으며, NOAEL (No Observed Adverse Effect Level)은 8mg/m³으로 확인됨(Dudley and Miller, 1941)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- EPA, 1974; Lee, Dufield, 1979
- Johnson, 1970
- 「대기오염물질배출량」 환경부
- U.S. Dept Health & Human Services/Agency for Toxic Substances & Disease Registry, 2003
- Mackison, F.W., 1981
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- Dudley and Miller, 1941

9. 안티몬 및 그 화합물 (Antimony Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Sb	분자량	121.76
끓는점	1635°C	녹는점	630°C
증기압	mmHg	log Kow	-
대기반감기	1mmHg at 886°C	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
생식독성	1 (위험)	H360	생식능력 또는 태아에 손상을 줄 수 있음
생식독성	-	H362	모유를 먹는 아이에 유해할 수 있음
수생환경 유해성, 장기간 (만성)	만성3	H412	장기적 영향에 의해 수생생물에 유해함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

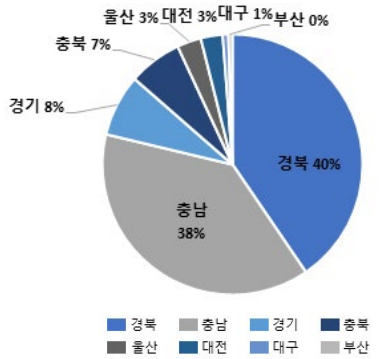
- ▶ 안티몬은 지각에 자연적으로 존재하며 토양의 자연적 풍화에 의해 하천과 수로로 운반될 수 있을 뿐만 아니라, 인위적 원천으로부터 운반될 수 있음
- ▶ 순도 높은 안티몬은 반도체 소자 제조에 제한되지만 중요하게 적용됨
- ▶ 합금으로서 납-안티몬계, 주석-안티몬계, 납-주석-안티몬계가 활자합금, 베어링 합금, 축전지 용 극판 등에 사용
- ▶ 순금속으로는 보호용 도금으로 사용되며, 반도체 재료로 수요가 증가하고 있음
- ▶ 안전 장비와 매트리스와 같은 가정에서 사용하는 용품에서 난연제로 사용됨
- ▶ 페인트, 도자기, 불꽃놀이, 플라스틱, 금속, 유리의 에나멜로도 사용됨
- ▶ 안티몬 화합물은 leishmaniasis 같은 기생충 질병의 치료에도 사용됨
- ▶ 채굴, 제련 또는 정제, 합금 및 연마 제조, 인쇄 시 조판 과정에서 공기 중 배출이 발생할 수 있음
- ▶ 안티몬 및 그 화합물을 제조하거나 사용하는 과정에서 배출되며, 주로 공기 중으로 배출됨

(4) 배출량 정보

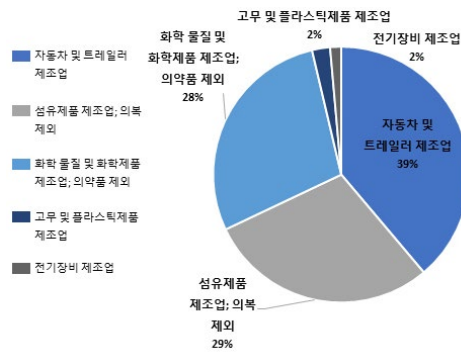
- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 5,929kg/년의 안티몬이 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 안티몬 배출량 변화〉



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ CAA (the Clean Air Act) 112조에서 안티몬을 암이나 기타 심각한 인간의 건강 영향 또는 생태계 손상을 유발하는 것으로 알려져 있거나 의심되는 188개 유해 대기오염물질(HAPs; hazardous air pollutants) 중 하나로 열거하고 있음(EPA, the Clean Air Act, 2000)
- ▶ 공장에서의 안티몬 먼지는 노출되는 작업자의 위장관계 증상의 중요한 원인으로 호흡 곤란, 두통, 구토, 결막염, 코에서의 출혈을 야기함(Hamilton, A., 1974)
- ▶ 안티몬의 만성 영향은 심전도의 변화, 특히 T파의 이상, 심근 변화, 진폐증, 폐렴, 기관지염, 후두염, 기관지염, 안티몬 반점이라고 불리는 풍진 발진 및 금속에 대한 접촉 알레르기 등이 있음(Seiler, H.G. (eds.), 1988)
- ▶ 공기 중 안티몬 및 안티몬 화합물에 만성적으로 노출된 근로자는 피부염, 눈 자극, 폐 폐쇄성 변화, 폐렴 증가, 폐기종 등의 지속적인 증상을 보일 수 있음(Bingham, E., 2001)

- ▶ 안티몬 주사 후 며칠간 사망해가는 동물들은 호흡 곤란, 체중감소, 약화, 모발 손실 및 심근 기능 부전을 보임
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA(Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) $0.5\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ ACGIH(The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 안티몬 및 그 화합물의 TLV(Threshold Limit Value) - 8시간 TWA: $0.5\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ OSHA(the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 안티몬 및 그 화합물의 PEL(Permissible Exposure Limit) - 8시간 TWA: $0.5\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ NIOSH(National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 안티몬 및 그 화합물의 REL(Recommended exposure limit) - 10시간 TWA: $0.2\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ NIOSH의 표적 장기 및 IDLH(Immediately dangerous to life and health): 눈, 피부, 호흡기계, 심혈관계, $50\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ antimony trioxide으로 $12\text{mg}/\text{m}^3$ 이상 급성 노출된 mouse의 경우 후두개 편평상피화생이 나타났으며, MRLs(Minimal Risk Levels)은 $0.001\text{mg}/\text{m}^3$ 임(NTP, 2016)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 「대기오염물질배출량」, 환경부
- EPA, the Clean Air Act, 2000
- Hamilton, A., 1974
- Seiler, H.G. (eds.), 1988
- Bingham, E., 2001
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- NTP, 2016

10. 주석 및 그 화합물 (Tin Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Sn	분자량	118.71
끓는점	2270°C	녹는점	231.9°C
증기압	1×10^{-5} mmHg at 1224°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
-			

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

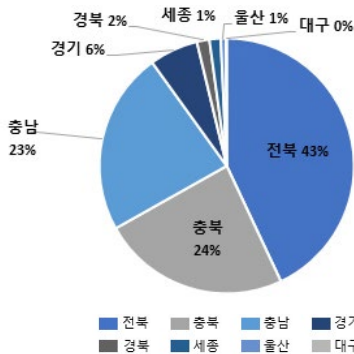
- ▶ 무기 주석은 치약, 향수, 비누, 착색제, 식품 첨가물, 염료 및 유리 산업에 사용됨
- ▶ 전선에 주석 도금, 구리로 만들어진 주방용 기구의 코팅작업에 사용함
- ▶ Tributyltin은 제지 공장에서 슬라임 제어, 순환 산업 냉각수의 소독, 오염 방지제 및 목재 보존에 사용되며, Tributyltin, triphenyltin, tricyclohexyltin은 농업에서 살균제, 방충제, 제조제, 선충제, 살충제로 사용됨
- ▶ 알킬을 탄화수소로 전환하기 위한 환원제로 사용됨(Aldrich Chemical Co, 2000)
- ▶ 주석을 포함한 가스, 먼지 연기는 제련 및 정제 과정, 주석의 산업적 사용, 폐기물 소각 및 화석 연료의 연소에 의해 방출될 수 있음

(4) 배출량 정보

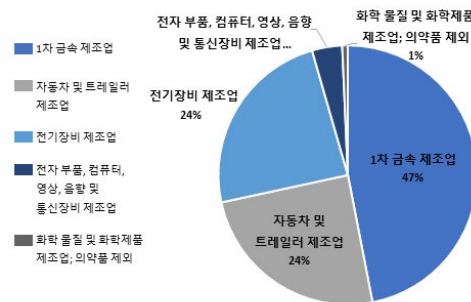
- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 6,617kg/년의 주석이 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 주석 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 트리메틸 주석, 트리에틸 주석 및 트리부틸 주석 화합물을 포함한 모든 유기 주석 화합물은 DNA 및 RNA 반응에 필요한 메틸기의 비타민 B12 고갈 구조에 손상을 입힐 수 있음
- ▶ 지방 친화성으로 인해, 오르가노틴 화합물은 활성화 초기 부위인 막 유동성을 변화시킴으로써 지질 이중층에 영향을 미칠 수 있음
- ▶ 오르가노틴 화합물은 내분비 교란 물질로 부적절한 수용체 활성화로 비만을 유발하여 지방 세포 분화를 유도하는 것으로 알려져 있음(Grun, F., Blumberg, B., 2006)
- ▶ 유기 주석 화합물은 면역과 생식 시스템을 손상시킬 수 있음(ATSDR, 2005)
- ▶ 무기 주석에 만성적으로 노출된 인간은 주로 하부 호흡기를 포함하는 stannosis로 알려진 양성 폐렴을 보임
- ▶ 무기 주석으로 오염된 식품을 섭취한 피험자에게서 메스꺼움, 구토, 설사와 같은 위장 효과가 나타날 수 있음
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) 2mg/m³
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의

주석 및 그 화합물의 TLV (Threshold Limit Value) - 8시간 TWA (Time Weighted Average):
2mg/m³

- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 주석 및 그 화합물의 PEL (Permissible Exposure Limit) - 8시간 TWA: 2mg/m³
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 주석 및 그 화합물의 REL (Recommended exposure limit) TWA: 2mg/m³
- ▶ NIOSH의 표적 장기 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 눈, 피부, 호흡기계, 100mg/m³

참고문헌

- Aldrich Chemical Co, 2000
- 「대기오염물질배출량」, 환경부
- Grun, F., Blumberg, B., 2006
- ATSDR, 2005
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정

11. 텔루륨 및 그 화합물 (Tellurium Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Te	분자량	127.6
끓는점	990°C	녹는점	450°C
증기압	7.5×10^{-3} mmHg at 25°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
생식독성	1 (위험)	H360	생식능력 또는 태아에 손상을 줄 수 있음
생식독성	-	H362	모유를 먹는 아이에 유해할 수 있음
피부 민감성	1 (경고)	H317	알레르기성 피부반응을 일으킬 수 있음
급성독성	4 (경고)	H332	흡입 시 유해함
수생환경, 유해성, 장기간 (만성)	만성4	H413	장기적 영향에 의해 수생생물에 유해의 우려가 있음

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 텔루륨은 자연에서 발견되지만, 금의 telluride로 더 자주 발견되며 다른 금속들과 결합됨
- ▶ 주로 합금제로 사용되며, 소량의 텔루륨은 가공성을 향상시키기 위해 스테인리스강과 구리에 첨가되어 기계 가공과 제분이 용이함(Jefferson Lab, U.S. Department of Energy)
- ▶ 텔루륨은 구리와 스테인리스강의 가공성을 향상시키고 납에 황산의 부식 작용을 감소시켜 강도와 경도를 향상시킴(Los Alamos National Laboratory, U.S. Department of Energy)
- ▶ 텔루륨은 철 주물에서 강력한 냉각제로 냉기를 조절하고 표면에 강한 내마모성을 부여함
- ▶ 천연고무와 합성 고무의 경화제로 고무의 기계적 특성을 개선하여 열과 마모에 대한 저항성을 부여함
- ▶ 화학 산업에서 가황제 및 고무 가공 촉진제로 사용되었으며 합성 섬유 생산을 위한 촉매제로 사용함

- ▶ 주철, 도자기, blasting caps, 태양 전지판, chalcogenide 유리 등에 사용할 수 있음
- ▶ 텔루륨 및 그 화합물을 제조하거나 사용하는 과정에서 배출됨

(4) 배출량 정보

- ▶ 대기 중 존재하는 물질 중 독성, 대기오염도 등을 고려하여 대기오염의 원인으로 인정된 가스·입자상 물질로서 환경부령으로 정한 일반 대기오염물질임

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 텔루륨 노출 시 피로, 졸음, 현기증, 입의 마름, 금속 맛, 두통, 마늘 냄새, 메스꺼움의 증상을 유발할 수 있음
- ▶ 공기 중 아주 적은 양의 텔루륨에 노출된 근로자들은 마늘 같은 냄새를 가진 ‘텔루륨 호흡’을 발달시킴
- ▶ 단기 노출 시 에어로졸은 눈과 호흡기를 자극하고, 간과 중추신경계에 영향을 미칠 수 있음
- ▶ 돌발적인 물질의 섭취로 인해 독성 증상이 초래될 수 있으며, 동물실험 결과 40g 미만의 섭취는 치명적이거나 개인 건강에 매우 심한 손상을 일으킬 수 있음
- ▶ 흡입 시 hydrogen telluride는 가벼운 코 자극, 호흡 곤란, 심장질환을 유발함
- ▶ 텔루륨 화합물은 박테리아에서 돌연변이 유발 효과와 함께 DNA에 직접적인 손상을 일으키며 포유류 세포에서는 쇠설성임
- ▶ 텔루륨과 그 화합물에 의해 생성되는 신경병증은 콜레스테롤 합성이 감소된 결과이며, 이에 따른 불안정화 및 remyelination이 감소함
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA(Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) 0.1mg/m³
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 텔루륨 및 그 화합물의 TLV (Threshold Limit Value) - 8시간 TWA: 0.1mg/m³
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 텔루륨 및 그 화합물의 PEL (Permissible Exposure Limit) - 8시간 TWA: 0.1mg/m³
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 텔루륨 및 그 화합물의 REL (Recommended exposure limit) TWA: 0.1mg/m³
- ▶ 텔루륨 화합물에 대한 흡입 독성 데이터가 없어 급성 경구 독성 데이터에 기초한 텔루륨 화합물의 IDLH (Immediately dangerous to life and health)는 25mg/m³임 (Izmerov *et al.*, 1982; Muhlberger and Schrenk, 1928)
- ▶ NIOSH의 표적 장기 및 IDLH: 피부, 중추신경계, 혈액, 25mg/m³

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- Jefferson Lab, U.S. Department of Energy
- Los Alamos National Laboratory, U.S. Department of Energy
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- Izmerov *et al.*, 1982; Muhlberger and Schrenk, 1928

12. 바륨 및 그 화합물 (Barium Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Ba	분자량	137.33
끓는점	1640°C	녹는점	725°C
증기압	10mmHg at 1049°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 고체	2 (경고)	H228	인화성 고체
물반응성 물질 및 혼합물	1 (위험)	H260	물과 접촉 시 자연 발화하는 인화성 가스를 발생시킴
급성독성-경구	3 (경고)	H301	삼키면 유독함
피부부식성/자극성	1 (위험)	H314	피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴

(2) 규제정보

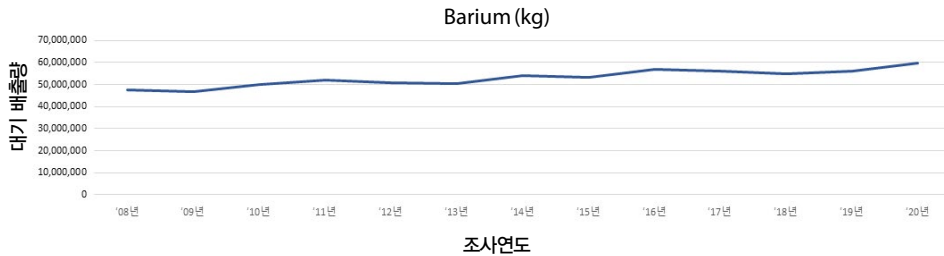
고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

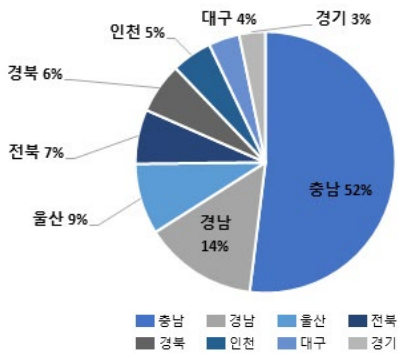
- ▶ 바륨은 자연 중 포함된 광물로 일반적으로 자연에서 발견되지 않고, 바위와 광물의 용해를 통해 화성암, 사암, 셰일, 퇴적암 등의 지질학적 환경에서 주로 기인함
- ▶ 인위적 오염원으로는 광산이나 금속류 제련산업의 공정 중에 대기, 수계 및 토양으로 유출되어 환경오염을 일으킴
- ▶ 바륨 화합물은 플라스틱, 고무, 전자 제품, 섬유산업, 도자기 유약, 에나멜 제조, 유리 제조, 제지 산업 의약품과 화장품 제조의 윤활유 첨가제 등의 용도로 사용되며 생성과정에서 나오는 폐수도 배출원임
- ▶ 화석 연료 연소 및 쓰레기 소각과 같은 산업폐기물로 인해 대기 중에 미립자의 형태로 배출됨
- ▶ 광업이나 가공 산업에 종사하는 근로자와 그러한 산업 근처에 거주하는 개인은 바륨 화합물이 함유된 탈진 먼지를 흡입함으로써 상대적으로 높은 수준에 노출될 수 있음

(4) 배출량 정보

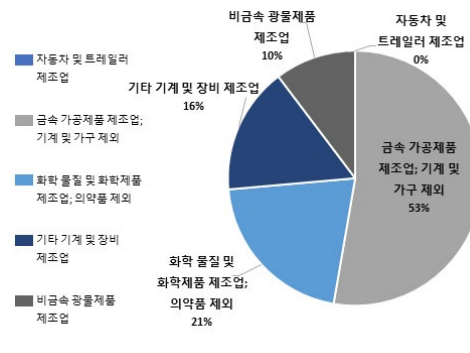
- ▶ 대기 중 바륨의 농도는 <math>< 0.05\mu\text{g}/\text{m}^3</math>로 추정됨(IPCS, 1991)
- ▶ EPA에서 대기 중 바륨 농도를 $0.0015\sim 0.95\text{mg}/\text{m}^3$로 보고하였음(EPA, 1984)
- ▶ 1969년 미국 전체 대기 중 바륨 배출량의 약 18%가 바륨 광석의 가공에서 비롯되었으며, 전체의 28% 이상이 바륨 화학물질의 생산에서 발생한 것으로 추정됨
- ▶ 미국에서 제조 및 처리시설 1,107곳에서 대기 중으로 방출된 바륨 및 그 화합물의 추정 합계 방출량은 TRI(Toxics Release Inventory) 보고 환경 방출량의 약 1.09%를 차지함
- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 52,999,114kg/년의 바륨이 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 바륨 배출량 변화〉



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 수용성인 염화바륨, 수산화바륨, 질산바륨 등의 바륨 화합물은 섭취하면 호흡 곤란, 혈압 상승, 심장 박동의 변화나 마비, 근육 약화, 위 자극, 신경 반사 변화, 뇌·간의 붓기, 신장과 심장 손상이 나타날 수 있음
- ▶ 바륨 분진과 흡에 과다 노출 시 비염, 전두통, 씹씹거림, 후두 경련, 타액분비와 거식증을 유발함

- ▶ 인체 발암성 물질로 분류되지는 않으나 직접적으로 접촉할 경우 자극, 발적 및 통증을 유발할 수 있으며, 장기간 접촉 시 피부염을 유발할 수 있음
- ▶ 고농도의 바륨은 동맥근의 직접적인 자극을 통해 혈관수축, 평활근의 과도한 자극이 발생해 혈관 신경성울혈, 중추신경계의 자극으로 경련과 마비를 일으킴
- ▶ 두 연구에서 근로자들이 황산바륨에서 나오는 먼지에 만성적으로 노출되어 폐에 경미한 영향을 미친다는 것을 보여줌
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA(Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) $0.5\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ ACGIH(The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 바륨 및 그 화합물의 TLV(Threshold Limit Value) - 8시간 TWA: $0.5\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ OSHA(the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 바륨 및 그 화합물의 PEL(Permissible Exposure Limit) TWA: $0.5\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ NIOSH(National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 바륨 및 그 화합물의 REL(Recommended exposure limit) TWA: $0.5\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ NIOSH의 표적 장기 및 IDLH: 눈, 피부, 호흡기계, 심장, 중추신경계, $50\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ 바륨 흡입 노출 후 동물의 호흡기 영향에 대한 연구는 $3.6\text{mg}/\text{m}^3$ 바륨에 노출된 rats에서의 폐병변 관찰(Tarasenko *et al.*, 1977)과 에어로졸화 염화바륨 용액 $0.06\text{mg}/\text{m}^3/\text{min}$ 흡입 후 기관지 수축이 관찰된 것으로 보고됨(Hicks *et al.*, 1986)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- IPCS, 1991
- EPA, 1984
- 「대기오염물질배출량」, 환경부
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- Tarasenko *et al.*, 1977
- Hicks *et al.*, 1986

13. 일산화탄소 (Carbon monoxide)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	CO	분자량	28.01
끓는점	-191.5°C	녹는점	-205.02°C
증기압	1.55×10^{-8} mmHg at 25°C	log Kow	1.78
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 가스	1 (위험)	H220	극인화성 가스
고압가스	경고	H280	고압가스 포함; 가열하면 폭발할 수 있음
급성독성-흡입	3 (위험)	H331	흡입하면 유독함
생식독성	1 (위험)	H360	태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 수 있음 (흡입) (조산 위험 증가, 심장 결함 위험 증가)
특성 표적 장기 독성·반복 노출	2 (경고)	H373	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킬 수 있음 (흡입) (심장 손상)

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2022-12-06	대기환경기준: 환경정책기본법	8시간평균치 9ppm 이하 1시간평균치 25ppm 이하
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	50~300ppm
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-
2018-12-28	암, 돌연변이성물질 등: 환경부고시 제2018-232호	-

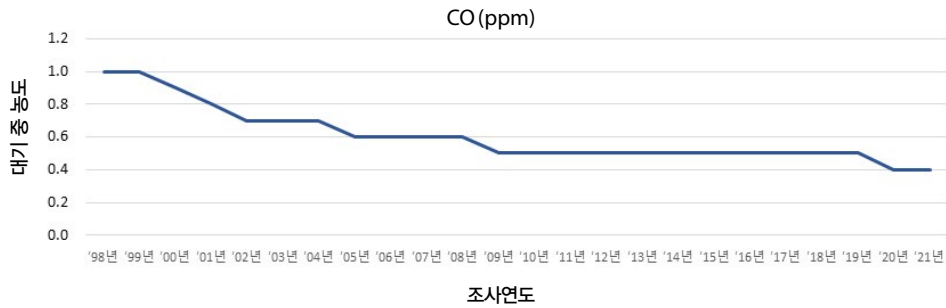
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 일산화탄소는 환원제와 화학 중간체로 사용되고 있음
- ▶ 대기오염물질 중 가장 흔한 물질 중의 하나로 폭넓게 분포함
- ▶ 인위적 배출은 탄소를 함유한 물질들의 불완전연소, 산업활동과 생물학적 변화 과정에서도 발생
- ▶ 내연 기관의 배기가스로 특히 가솔린 엔진이 장착된 자동차에서 발생함
- ▶ 가스레인지, 발전기 및 기타 휘발유 구동 장비, 담배 연기, 마모되거나 제대로 관리되지 않고 사용되는 연소 장치 등에서 배출되고 있음

(4) 배출량 정보

- ▶ 1998년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 일산화탄소의 평균 농도는 0.604ppm (± 0.171 , 0.4~1ppm)

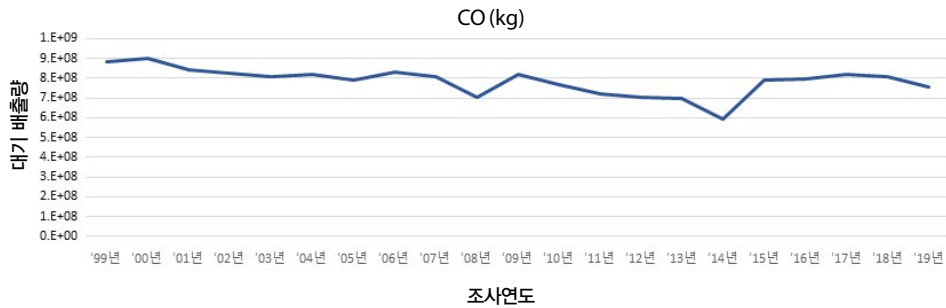
(자료 출처: 2021 대기환경연보, 국립환경과학원)



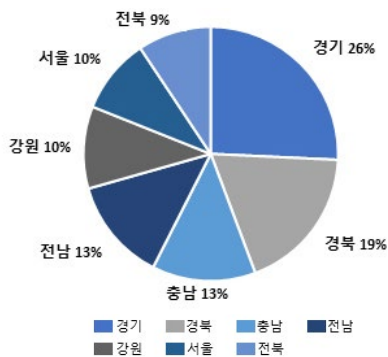
〈연도별 대기 중 일산화탄소 농도 변화〉

- ▶ 2020년 국내에서 배출된 일산화탄소의 양은 722,233kg 정도로 보고되었음

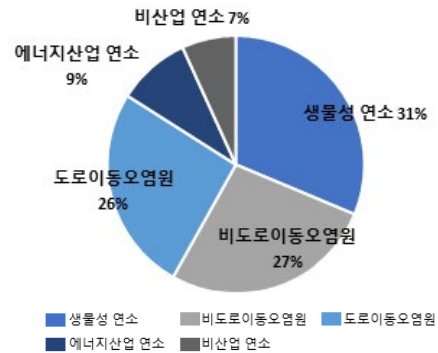
(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 일산화탄소 배출량 변화〉



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 흡입된 일산화탄소는 헤모글로빈 전구체(protohaem)의 철분과 반응하며, 강한 결합체를 형성함
- ▶ 유기체 내 일산화탄소의 분포는 기관들의 관류에 의해 영향을 받음
- ▶ 혈액 내 카르복시 헤모글로빈 농도는 심장동맥과 관상동맥 내에서 매우 빠르게 증가하나 말초신경 내에서는 느리게 증가한다고 보고되어짐 (Zorn, H.R. *et al.*, 1986)
- ▶ 안정한 상태로 들어선 후, 일산화탄소의 분포는 기관들과 조직 내 부분적 산소압과 일산화탄소에 의해 결정
- ▶ 일산화탄소의 가장 대표적 독성기전은 헤모글로빈과 일산화탄소의 우선적 결합으로 조직의 적혈구 세포와 모세관 헤모글로빈에 의해 혈액 내 이동산소의 감소가 일어나 저산소증(hypoxia)을 초래하는 것임
- ▶ 심장과 뼈 근육에서의 미오글로빈(myoglobin)과 일산화탄소의 결합은 조직에서의 산소이동을 감소시킴
- ▶ 기본적으로 유기체로부터 일산화탄소를 제거하기 위해서는 생화학적인 면과 같은 생리적 원리를 염두에 두어야 함
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 0.01ppm, STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 200ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 50ppm (55mg/m³)
- ▶ NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 최대 10시간 TWA 35ppm (40mg/m³), C (ceiling) 200ppm (229mg/m³), IDLH (Immediately dangerous to life or health, 즉시건강위험농도) 1200ppm
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 25ppm
- ▶ 직장에서의 최대(허용)농도(MAK value)는 30mL/m³ 로 정의되었음 (DFG, 1992)
- ▶ 급성독성 - 흡입: 1300ppm (LC₅₀ (Lethal dose for 50 percent kill), male rats, 4 hour) (자료출처: ECHA, 1970)
- ▶ DNEL (Derived-No-Effect-Levels, 무영향도출수준) - 흡입: 23mg/m³ (인체, 작업자, 전신 영향, 장기간 노출) (ECHA)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 환경기준, 환경정책기본법 시행령
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- 에어코리아 대기환경 연보, 2021
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Zorn, H.R. *et al.*, 1986
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2022
- NIOSH, 1972
- ACGIH, Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Carbon monoxide
- DFG, 1992
- ECHA, 1970

14. 암모니아 (Ammonia)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	NH ₃	분자량	17.03
끓는점	60°C	녹는점	-78°C
증기압	760mmHg at -33°C	log Kow	-1.14
대기반감기	103일 후 50%	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 가스	1 (위험)	H220	극인화성 가스
고압가스	2 (경고)	H280	고압가스 포함; 가열하면 폭발할 수 있음
급성독성-흡입	3 (위험)	H331	흡입하면 유독함
피부 부식성/자극성	1 (위험)	H314	피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	12~30ppm
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

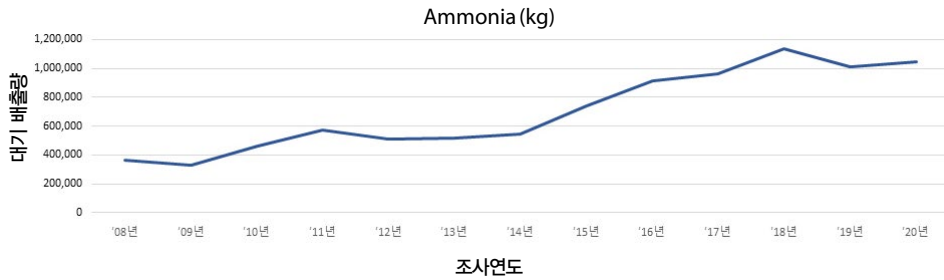
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 암모니아와 암모늄 화합물의 가장 큰 사용은 비료의 농업적 응용임
- ▶ 부식 방지제, 합성 섬유, 펄프, 플라스틱, 폭발물, 세제 및 기타 화학물질 제조에 사용됨
- ▶ 고무 생산에서 원료 라텍스를 안정화하는데 사용될 수 있고 산업적으로 촉매 등으로도 활용됨
- ▶ 암모니아는 대량의 공업 제품으로 질산과 비료 제조에 주로 사용하며, 가장 일반적으로 사용되는 냉매로 특히 대규모 산업 시설에 사용됨
- ▶ 창고의 과일에서 곰팡이 증식을 억제하는 비농업용 농약 및 소독제로 사용됨
- ▶ 가축 분뇨의 부패로 인한 암모니아 배출은 가축 사육장 및 가금류 수용 건물과 같이 인위적으로 동물의 농도가 높은 지역에서 많이 배출됨

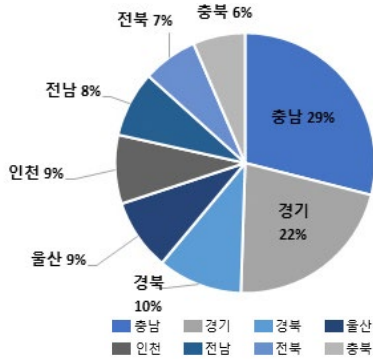
- ▶ 대형 냉장 탱크는 암모니아를 저장하는 데 사용되며, 이러한 탱크의 압력을 방출하는 동안이나 누출로 인해 환경으로 방출될 수 있음
- ▶ 암모니아 생산, 사용과 관련된 산업 공정의 폐수와 처리 공장의 폐수에서 발생하는 휘발을 통해 대기로 유입될 수 있음

(4) 배출량 정보

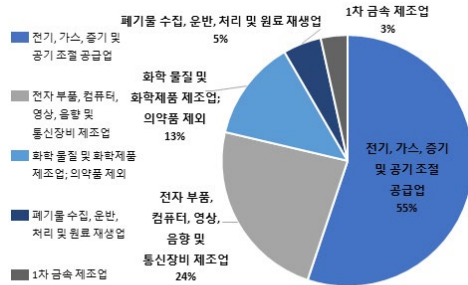
- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 701,043kg/년의 암모니아가 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 암모니아 배출량 변화〉



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 암모니아에 과노출 시 눈, 코, 식도 자극을 유발할 수 있으며, 호흡 곤란, 기관지 경련과 흉통, 폐부종, 거품이 있는 분홍색 가래, 피부 화상, 소포증이 발생할 수 있고, 암모니아 액체에 직접 접촉 시 동상에 걸릴 수 있음(O'Neil, 2013)
- ▶ 암모니아 독성은 만성 간 질환과 연관 있는 간성뇌증의 주요 병인이며 중증 간 질환 환자의 암모니아 수치는 혈액과 뇌척수액에서 빈번하게 상승함

- ▶ 고농도의 암모니아에 노출될 경우 폐부종이 발생할 수 있으며, 이는 의학적 응급상황으로 몇 시간 지연되어 나타날 수 있고 생명에 위협적일 수 있음
- ▶ 암모니아 기체는 물에 잘 녹으며 눈과 상기도와 같은 습윤한 조직과 접촉 시 빠르게 알칼리성 부식을 일으키고, 암모니아 수용액에 노출 시 눈, 피부, 위장관에 알칼리성 침식으로 인한 손상이 유발될 수 있음(OLSON, 2012)
- ▶ 성인에서 간 질환 없이 고암모니아혈증으로 인한 뇌병증이 드물게 나타날 수 있으며, 이 경우 진단이 늦어지거나 안되어 치명적인 합병증이 유발돼 대상 부전으로 발작, 혼수, 사망과 같은 나쁜 결과로 이어질 수 있음(Kromas, 2015)
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) 25ppm (18mg/m³), STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 35ppm (27mg/m³)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 암모니아의 TLV (Threshold Limit Value) - 8시간 TWA: 25ppm
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 암모니아의 PEL (Permissible Exposure Limit) - 8시간 TWA: 50ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 암모니아의 REL (Recommended exposure limit) TWA: 25ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 브롬 및 그 화합물의 REL-STEL: 35ppm
- ▶ NIOSH의 표적 장기 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 눈, 피부, 호흡기계, 300ppm
- ▶ EPA IRIS (Integrated Risk Information System)의 호흡 노출에 대한 폐 기능 저하 및 호흡기 증상: RfC=5 × 10⁻¹ mg/m³ (Holness *et al.*, 1989)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	POD	Composite UF
호흡기계	5 × 10 ⁻¹	폐 기능 저하 및 호흡기 증상	NOAEL (ADJ): 4.9mg/m ³	10

RfC (Reference Concentration), POD (Point of Departure), NOAEL (No Observed Adverse Effect Level), UF (Uncertainty Factor)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- 「대기오염물질배출량」, 환경부
- O'Neil, 2013
- OLSON, 2012
- Kromas, 2015
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- Holness *et al.*, 1989

15. 질소산화물 (NOx)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식		분자량	
끓는점		녹는점	
증기압		log Kow	
대기반감기		PBT 여부	
유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
-			

(2) 규제정보

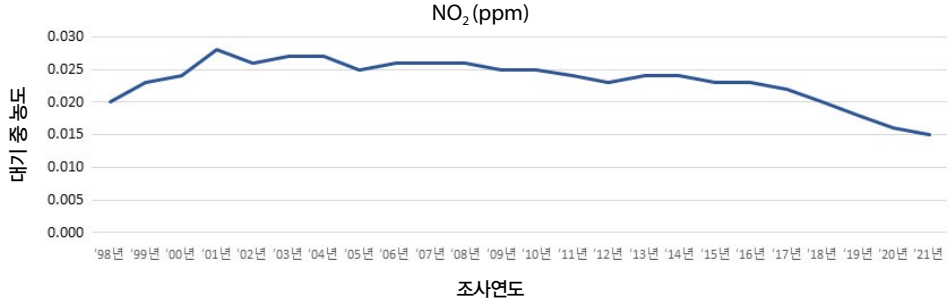
고시일자	고시정보	기준
2022-12-06	대기환경기준: 환경정책기본법	이산화질소: 연간평균치 0.03ppm 이하, 24시간 평균치 0.06ppm 이하, 1시간 평균치 0.1ppm 이하
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	10~250ppm

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 초미세먼지의 주요 발생원은 발전, 제철, 시멘트, 석유화학 등 대형사업장에서 배출되는 질소산화물(NOx)임
- ▶ 질소산화물은 수질 및 대기 환경에 큰 영향을 미치고 있으며 특히 질산염(Nitrate, NO₃⁻)의 경우 하버-보슈법(Harber-Bosch process) 개발 이후 비료로 무분별하게 사용해 과량 축적되어 토양 및 수질 오염의 원인이 되고 있으며, 배기가스의 주성분인 이산화질소(NO₂) 및 일산화질소(NO)는 산성비, 스모그 및 미세먼지 생성의 원인으로 알려져 있음
- ▶ 사업장에서 연료를 태울 때 배출되거나 자동차 배출가스에 포함된 대기오염물질은 주로 이산화질소 형태이며, 대기 중에서 일산화질소의 산화에 의해 발생하고 대기 중 휘발성 유기화합물(VOCs)과 반응하여 오존을 생성하는 전구물질(precursor) 역할을 함
- ▶ 비료의 주원료 중 하나인 질산염의 경우 지하수 오염 및 해수 녹조 현상의 원인임
- ▶ 이산화질소 주요 배출원은 자동차와 파워 플랜트와 같은 고온 연소공정과 화학물질 제조 공정 등이 있으며, 토양 중의 세균에 의해 생성되는 자연적 현상 등이 있음

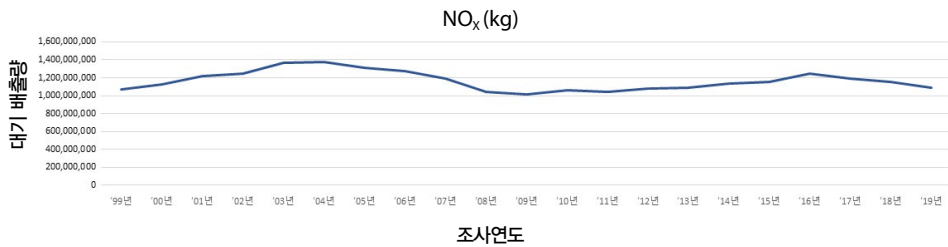
(4) 배출량 정보

- ▶ 1998년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 대기 중 이산화질소의 평균 농도는 0.023 ± 0.003 (0.015~0.028)ppm임 (한국환경공단, 2021)



〈연도별 대기 중 이산화질소 농도 변화〉

- ▶ 1999년부터 2019년까지 평균 1,164,957,571kg/년의 질소산화물이 배출되었음 (자료 출처: 국가미세먼지정보센터, 환경부)



〈연도별 대기 중 질소산화물 배출량 변화〉

- ▶ 질소산화물의 배출원별 기여도는 도로이동오염원이 차지하는 부분이 가장 크고, 비도로 이동오염원, 에너지산업 연소 순임

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 일반적으로 일산화질소, 이산화질소는 단독으로 존재하기보다 두 물질이 함께 존재하는 경우가 대부분으로, 두 물질이 고농도일 경우 눈과 호흡기 등에 자극을 주어 기침, 인두통, 현기증, 두통, 구토 등이 나타남
- ▶ 고농도의 이산화질소에 노출 시 만성 기관지염, 폐렴, 폐출혈, 폐수종의 발병으로까지 발전할 수 있는 것으로 보고됨
- ▶ 질소산화물은 식물보다 사람이 피해를 받기 쉽고, NO₂는 NO보다 독성이 5~10배 정도 강하며 고농도에서 점막을 심하게 자극하고 메타 헤모글로빈을 형성, 기도와 폐에 영향을 줌
- ▶ 저농도에 장기간 노출되는 경우에도 만성중독으로 기관지염, 폐기종, 위장병, 불면증 등을 일으키며 혈당 감소 또는 헤모글로빈의 증가 등이 나타날 수 있음

참고문헌

- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- 한국환경공단, 2021
- 국가미세먼지정보센터, 환경부

16. 황산화물 (SOx)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식		분자량	
끓는점		녹는점	
증기압		log Kow	
대기반감기		PBT 여부	
유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
-			

(2) 규제정보

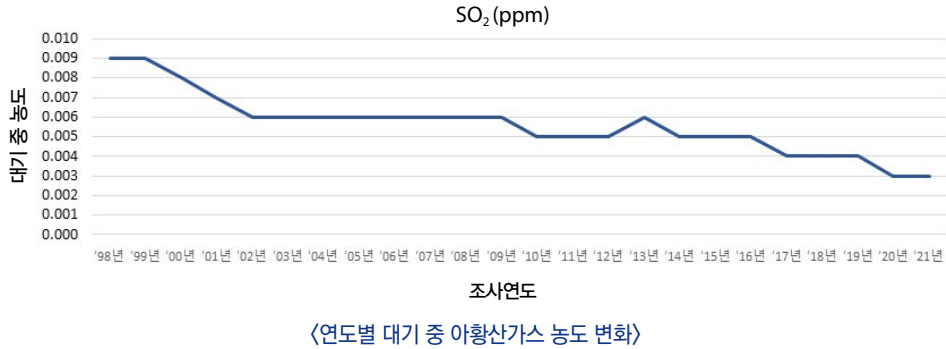
고시일자	고시정보	기준
2022-12-06	대기환경기준: 환경정책기본법	아황산가스: 연간평균치 0.02ppm 이하, 24시간 평균치 0.05ppm 이하, 1시간 평균치 0.15ppm 이하
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	10~250ppm

(3) 사용용도 및 대기배출원

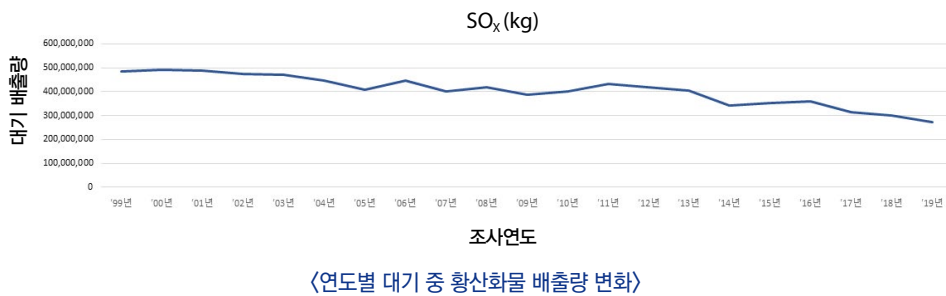
- ▶ 황산화물은 황분이 산화하면서 생성하는 아황산가스(SO₂), 삼산화황(SO₃, 황산 가스)을 SO_x로 나타내며, 아황산가스는 공기 중에서 쉽게 황산가스로 산화하여 황산염이 되거나 수분과 반응하여 미세한 황산 방울(H₂SO₄)이 됨
- ▶ 황산화물은 황을 함유한 석탄, 석유 등의 화석 연료가 연소할 때 주로 배출되며 아황산가스가 대부분을 차지함
- ▶ 광화학 반응이나 촉매반응에 의해 다른 오염 물질과 반응하여 2차 오염 물질을 생성하고 대기 중 습도가 높을 때는 아황산, 황산 미스트 등을 생성하여 시정감소, 각종 구조물의 부식, 생태계와 인간에 악영향을 미침
- ▶ 농업용 훈증제, 살균, 살충제, 과일 및 야채의 부패를 방지하기 위한 보존제, 표백제, 펄프 공업, 광유의 정제(방향족 성분의 용제추출), 각종 아황산염과 화학약품의 제조 등에 사용됨
- ▶ 주요 인위적 배출원은 발전소, 금속 용융 및 제련공장, 난방장치, 석유정제 및 화학비료 제조, 석탄 및 석유 연소과정, 황산제조와 같은 산업 공정 등이며, 자연적으로는 화산, 온천 등에 존재함

(4) 배출량 정보

- ▶ 1998년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 대기 중 아황산가스의 평균 농도는 0.006 ± 0.002 (0.003~0.009)ppm임 (한국환경공단, 2021)



- ▶ 1999년부터 2019년까지 평균 405,628,714kg/년의 황산화물이 배출되었음 (자료 출처: 국가미세먼지정보센터, 환경부)



(5) 주요 인체 영향

- ▶ 대기 중 아황산가스는 수용성이 크기 때문에 호흡작용에 의해 그 대부분이 상기도에 흡수되어 기관지, 눈, 코 등 점막을 통해 자극을 주며 만성노출이 되면 폐렴, 기관지염, 천식, 폐기종 등 질환이 나타나게 됨
- ▶ 아황산가스에 의한 급성피해로는 불쾌한 자극성 냄새, 시정감소, 생리적 장애, 압박감, 기도 저항 증가 등이 있고 계속된 노출에 의한 만성피해로는 폐렴, 기관지염, 천식, 폐기종, 폐쇄성 질환 등이 나타남
- ▶ 아황산가스는 고농도에서 비강과 인후에 많이 흡수되며 점막액과 반응하여 황산을 형성해 염증을 일으키고 눈, 코, 기도 등을 자극하여 천식 환자와 어린이 같은 민감 취약 군에 일시적으로 호흡 장애를 일으킬 수 있음

- ▶ 아황산가스는 안개가 많이 끼고 습도가 높을 때 폐기종, 기관지염 및 폐렴과 같은 호흡기 질환 이환율이 높고 사망률 또한 높음
- ▶ 황산 가스는 호흡기 계통에서 분비되는 점막에 흡착 후 작용해 귀양을 일으키고 그에 따른 세균 2차 감염이 쉽게 일어남

참고문헌

- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- 한국환경공단, 2021
- 국가미세먼지정보센터, 환경부

17. 황화수소 (Hydrogen sulfide)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	H ₂ S	분자량	34.08
끓는점	-60°C	녹는점	-85°C
증기압	1.56 × 10 ⁴ mmHg at 25°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 가스	1 (위험)	H220	극인화성 가스
고압가스	경고	H280	고압가스; 가열 시 폭발할 수 있음
급성 독성	2 (위험)	H330	흡입 시 유독함
수생환경 유해성, 단기간 (급성)	급성1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	2~5ppm

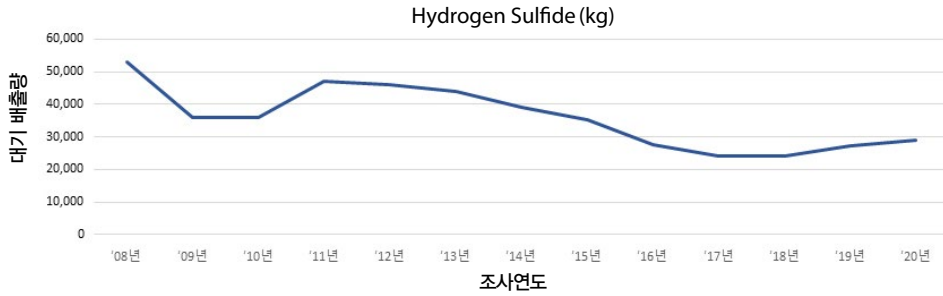
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 황화수소는 상업적으로 염산과 황산을 정제하며 금속 황화물을 침전시키고, 원소 황과 유기 황 화합물을 제조하는 데 사용됨
- ▶ 황화수소를 이용한 화학적 생산공정으로는 머캅탄, 의약품, 플라스틱, 접착제, 음극선관 (CRT) 및 형광관 형광체, 염료, 색소, 생분해성 살충제, 에틸렌, 나일론, 소다회, 황화나트륨, 중수 등이 있음
- ▶ 황화수소는 크레실산 회수의 환원제로 사용되며 분석 화학에서 시약으로 사용됨
- ▶ 폐수 정화 및 지하수 복구 작업에서 황화수소는 중금속을 고정시키기 위해 사용됨
- ▶ 황화수소는 석유정제, 태닝, 광업, 목재 펄프 가공, 레이온 제조, 사탕무 가공, 아스팔트 포장 을 포함한 많은 산업 공정의 부산물임
- ▶ 유기물이 부패하면서 자연적으로 생성되며 하수 슬러지, 액체거름, 유험온천, 천연가스 등에서 배출됨
- ▶ 석유 매장량과 천연가스 유정은 황화수소를 포함하고 있으며, 개발 시에 대기 중 황화수소의 방출원임

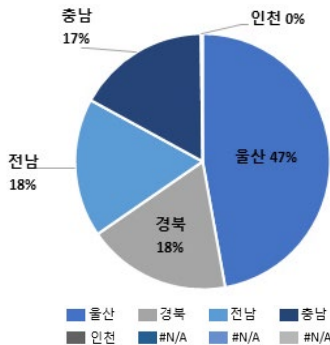
(4) 배출량 정보

- ▶ 2014년 미국의 제조 및 가공시설 516곳에서 대기 중으로 약 9,331톤의 황화수소가 방출된 것으로 추정됨
- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 36,008kg/년의 황화수소가 배출되었음

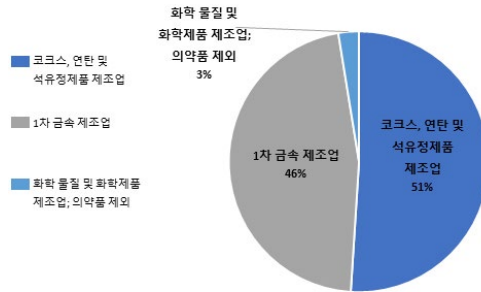
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 황화수소 배출량 변화〉



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 독성이 매우 강한 기체로 고농도 노출 시 의식불명과 호흡 마비가 올 수 있음
- ▶ 250~500ppm 농도에 장기간 노출되면 호흡기 자극, 폐 충혈, 기관지 폐렴 등이 발생할 수 있음
- ▶ 중수 공장에서 황화수소에 대한 직업상 노출에서 발견된 독성 증상으로 두통, 메스꺼움, 기침, 신경과민 및 불면증이 나타남(ACGIH, 1986)
- ▶ 황화수소는 눈에도 자극을 주어, 20~30ppm에 노출되면 결막염이 발생할 수 있음
- ▶ 신경 조직 및 심장 조직과 같이 산소 요구량이 높은 점막 및 조직은 황화수소에 노출될 때 가장 취약한 조직임

- ▶ 황화물은 시냅스 활성의 억제, 모노아민 산화효소의 억제, 뇌의 호흡 중추에 대한 직접적인 작용, 뇌의 글루탐산 수용체의 자극과 같은 다른 메커니즘을 통해 호흡 구동에 작용함
- ▶ 황화수소 대사의 교대는 고혈압, 당뇨병, 간경화, 아테롬성 동맥경화, 심부전, 염증, 패혈증, 발기부전, 천식, 신경퇴행성 질환의 형태로 일련의 병리학적 장애를 초래함
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 황화수소의 TLV (Threshold Limit Value) - 8시간 TWA (Time Weighted Average): 10ppm
- ▶ ACGIH 노출 한계에서의 황화수소의 TLV - 15min STEL (short-term exposure limit): 15ppm
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 황화수소의 PEL (Permissible Exposure Limit) - 10분 TWA: 20ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 황화수소의 REL (Recommended exposure limit) - 10분 TWA: 10ppm (15mg/m³)
- ▶ NIOSH의 표적 장기 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 눈, 호흡기계, 중추 신경계, 100ppm
- ▶ EPA IRIS (Integrated Risk Information System)의 호흡 노출에 대한 후각 점막의 비강 병변 증상: RfC=2×10⁻³ mg/m³ (Brenneman *et al.*, 2000)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	POD	Composite UF
신경계, 호흡기계	2×10 ⁻³	후각 점막의 비강 병변	NOAEL (HEC): 0.64mg/m ³	300

RfC (Reference Concentration), POD (Point of Departure), NOAEL (No Observed Adverse Effect Level), UF (Uncertainty Factor)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- 「대기오염물질배출량」, 환경부
- ACGIH, 1986
- Brenneman *et al.*, 2000

18. 황화메틸 (Dimethyl sulfide)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₂ H ₆ S	분자량	62.13
끓는점	38°C	녹는점	-98°C
증기압	399mmHg at 25 °C	log Kow	0.84
대기반감기	2.2일	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	2 (위험)	H225	고인화성 액체 및 증기

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 황화메틸은 Chloro gold (I) 및 기타 배위 화합물에서 치환 가능한 ligand로 사용되며, 식품 향미 성분뿐만 아니라 오존 분해 반응에서 환원제로서도 다양한 유기 합성물에 사용됨
- ▶ 일반적이고 중요한 산업용 용매인 dimethyl sulfoxide의 제조에 사용되며, 이는 석유 산업에 응용됨
- ▶ 주로 석유화학 및 살충제 합성에 사용되며, 화학 중간체, 황화제, 코크스 방지제, 가스 착취제 및 미네랄 솔트 용매로도 사용이 됨
- ▶ 육류, 껌, 사탕, 냉동 유제품, 알코올음료, 조미료 등의 식품 향미제로 사용됨
- ▶ 데드호스 아름(*Helicoverpa muscivora*)으로 알려진 파리 유인 식물에 의해 방출되는 휘발성 물질 중 dimethyl sulfide, dimethyl disulfide, dimethyl trisulfide가 발견되었으며, 해당 화합물들은 부패한 고기와 같은 냄새 성분으로, 많은 종의 파리들과 같이 썩은 고기를 먹고 사는 다양한 꽃가루 매개자들을 끌어들임
- ▶ 환기되지 않거나 밀폐 공간에서 물질의 사용은 노출과 자극적인 발달 대기 증가를 야기함
- ▶ 대기로 방출되는 가장 풍부한 생물학적 황 화합물로, 황화메틸은 식물성 플랑크톤에 의해 바다 위에서 방출됨
- ▶ 환경악취 문제를 일으킬 수 있는 dimethyl sulfoxide 폐기물을 하수구 처리 시 박테리아 변형을 통해 자연적으로 생성되기도 함

- ▶ 황화메틸은 제지 공장, 하수처리장, 정유공장의 일반적인 대기오염물질임

(4) 배출량 정보

- ▶ 대기 중 존재하는 물질 중 독성, 대기오염도 등을 고려하여 대기오염의 원인으로 인정된 가스·입자상 물질로서 환경부령으로 정한 일반 대기오염물질임
- ▶ 단백질 및 배합사료 제조시설, 당류 제조시설, 수산물 처리·가공시설, 조미료 및 식품 첨가물 제조시설, 커피 및 차 제조시설 업종에서 발생 가능한 오염 물질임

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 농도가 증가함에 따라 황화메틸의 냄새가 유해하게 변하여 입안의 악취, 메스꺼움, 구토를 유발함(Vento, 1966)
- ▶ 피부에 반복적으로 접촉하면 오일이 추출되어 자극이 발생할 수 있고, 섭취 시 메스꺼움, 구강 및 위의 자극을 유발함(USCG, 1999)
- ▶ 단기간 노출 시 자극, 호흡 곤란, 폐출혈, 구역질, 설사가 나타날 수 있음
- ▶ 농도가 증가할수록 점막, 눈, 피부에 자극을 일으킬 수 있으며, 국소적으로 장기간 노출 시 괴사를 일으킬 수 있음
- ▶ 알킬황화물은 중간 정도의 독성이 있고 혈액세포의 파괴 및 알러지성 피부염을 일으킬 수 있음
- ▶ 만성 간 질환(간경화)이 있는 경우, 호흡 중 높은 수치의 황화메틸이 존재하여 불쾌한 냄새를 유발할 수 있음(Uzhdavini, 1986)
- ▶ 공기량에서의 농도가 ~1% 이상일 때 산소 고갈로 인해 질식을 동반하는 횡격막 마비 및 혼수상태를 포함한 치명적인 중추신경계(CNS) 영향을 일으킴
- ▶ 일본과 러시아의 검시관은 황화메틸(최대 80%)가 풍부한 제지 공장 부산물 노출 피해자의 폐부종과 내장 과혈증을 보고함(Terazawa *et al.*, 1991; Vento, 1966)
- ▶ 사고로 섭취한 경우 유해할 수 있으며 동물실험 결과 150g 미만의 섭취는 치명적이거나 개인 건강에 매우 심한 손상을 일으킬 수 있음
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 황화수소의 TLV (Threshold Limit Value) - 8시간 TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준): 10ppm
- ▶ 급성독성 - 황화메틸 흡입에 의한 LC₅₀ (Lethal concentration 50% kill): rats 40250ppm (Lackey, H.B. *et al.*, 1978)
- ▶ 급성독성 - 황화메틸 흡입에 의한 LC₅₀ (Lethal concentration 50% kill): mice 31620 μ g/m³ (Gigiena Truda i Professional'nye Zabolevaniya, 1972)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- Vento, 1966
- USCG, 1999
- Uzhdavini, 1986
- Terazawa *et al.*, 1991; Vento, 1966
- Lackey, H.B. *et al.*, 1978
- Gigiena Truda i Professional'nye Zabolevaniya, 1972

19. 이황화메틸 (Dimethyl disulfide)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₂ H ₆ S ₂	분자량	94.2
끓는점	109°C	녹는점	-85°C
증기압	22mmHg at 20°C	log Kow	1.91
대기반감기	3.2~4.6시간	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	2 (위험)	H225	고인화성 액체 및 증기
급성독성	3 (위험)	H301	삼키면 유독함
피부 민감성	1 (경고)	H317	알레르기성 피부반응을 일으킬 수 있음
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
급성독성	3 (위험)	H331	흡입 시 유독함
특정표적 장기독성-1회 노출	3 (경고)	H336	졸음이나 현기증을 일으킬 수 있음
특정표적 장기독성-1회 노출	1 (위험)	H370	장기 (상기도)에 손상을 일으킴 (호흡)
수생환경 유해성, 단기간 (급성)	급성1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성, 장기간 (만성)	만성1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

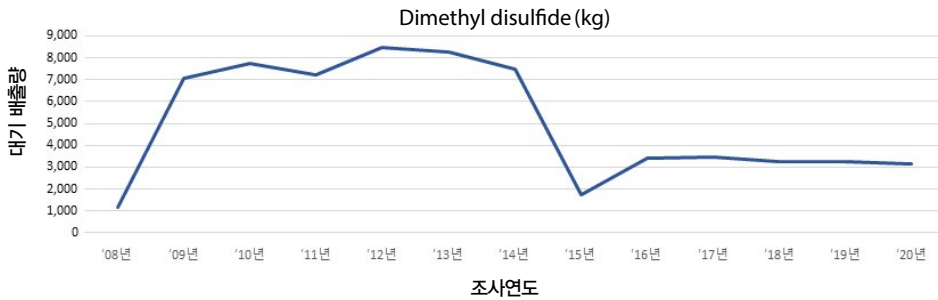
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 이황화메틸은 황 함량이 높고 분해 온도가 낮아 수소 탈황 촉매를 제조하는 데 사용됨
- ▶ 정유 및 기타 산업에서 반응을 촉매하는 황화제, 황 용매로 사용되며, 석유화학 산업에서 코크스 침전물, 인공 향료 및 부식 억제제를 감소시킴
- ▶ 이황화메틸은 종종 구운 제품, 치즈, 냉동 유제품, 육류 제품, 수프, 고소한 맛, 과일 맛, 부드러운 사탕, 젤라틴, 푸딩, 알코올 및 비알코올 음료를 포함한 식품의 다른 향료 화합물과 함께 사용함

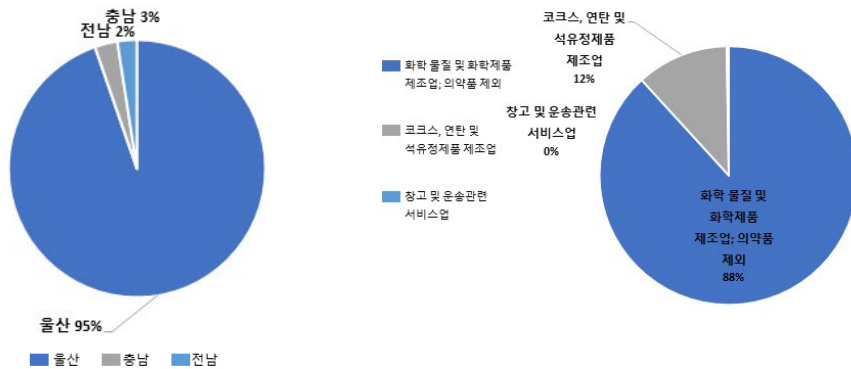
- ▶ 다양한 살충제 생산에 사용되는 4-(methylthio)phenol의 제조에 사용됨
- ▶ 이황화메틸의 제조 및 촉매, 용매 및 식품 첨가제로서의 사용은 다양한 폐기물 흐름을 통해 환경으로 방출됨

(4) 배출량 정보

- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 5,058kg/년의 이황화메틸이 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 이황화메틸 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 흡입 또는 물질과의 접촉은 피부 및 눈을 자극하거나 화상을 입을 수 있음
- ▶ 화재로 인해 자극성, 부식성 및 독성가스가 발생하며, 증기는 현기증이나 질식을 일으킬 수 있고 화재 통제 또는 희석수에서 유출될 경우 오염이 발생할 수 있음
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 이황화메틸의 TLV (Threshold Limit Value) - 8시간 TWA (Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준): 0.5ppm (피부)

- ▶ 독성 수치 - 이황화메틸 흡입에 의한 LC₅₀ (Lethal concentration 50% kill): rats 15850 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lewis, 2004)
- ▶ 독성 수치 - 이황화메틸 흡입에 의한 LC₅₀ (Lethal concentration 50% kill): mice 12300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lewis, 2004)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 「대기오염물질배출량」 환경부
- Lewis, 2004

20. 메르캡탄류 (Mercaptans)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식		분자량	
끓는점		녹는점	
증기압		log Kow	
대기반감기		PBT 여부	
유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
-			

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 메르캡탄은 천연가스에 첨가되는 악취가 나는 가스로 탄소, 수소, 황으로 구성된 유기 가스임
- ▶ 메르캡탄 종류에는 methanethiol, ethanethiol, 2-mercaptoethanol, cysteine, lipoamide, 2-mercaptoindole, coenzyme A 등이 있음
- ▶ 독특한 냄새를 가진 유기 화합물로 제지 공장이나 펄프 공장, 콜타르, 석유 증류액에서 가장 흔하게 발견됨
- ▶ 양파, 아스파라거스, 무, 일부 견과류 및 치즈를 포함한 음식에서 자연적으로 발견될 수 있고 특정 해양 미생물에 의해 생산되며 습지와 관련된 늪 냄새를 생산함
- ▶ 낮은 농도에서 인간에 의해 감지될 수 있기 때문에 개인이 다른 가스나 화학물질의 존재를 감지하는 것을 돕는 유용한 취기제로 사용됨(SafeGase, About Natural Gas)
- ▶ 메틸 메르캡탄은 주로 가금류와 동물 사료의 식이 보충제인 methionine을 생산하는 데 사용되며(Norell, John; Louthan, Rector, P., 1988) 살충제, 살균제, 플라스틱 및 동물 사료 첨가물의 생산에서 중간체로 사용됨
- ▶ 분해될 때까지 가열 시 매우 유독한 가스와 가연성 증기를 방출함
- ▶ 액화 메틸 메르캡탄 가스의 증기는 공기보다 무거워 저지대에서 수집될 수 있음
- ▶ 메르캡탄류 가스의 천연 공급원 근처에 거주하거나 가스를 방출하는 습지, 지하 또는 쓰레기장의 근처에서 거주할 시 공기 중의 메르캡탄류에 노출될 수 있음

- ▶ 목재 펄프 공장, 하수 처리 공장에서 일하거나 제트 연료, 살충제, 가금류 사료와 같은 다른 제품을 만드는 공장에서 작업 시 메르캡탄류에 노출될 수 있음

(4) 배출량 정보

- ▶ 대기 중 존재하는 물질 중 독성, 대기오염도 등을 고려하여 대기오염의 원인으로 인정된 가스·입자상 물질로서 환경부령으로 정한 일반 대기오염물질임
- ▶ 기타 화학제품 및 탄화시설, 합성 고무·플라스틱제품 제조시설, 생활폐기물 처리시설, 당류 제조시설, 수산물 처리·가공시설, 조미료 및 식품 첨가물 제조시설, 커피 및 차 제조시설의 업종에서 발생 가능한 오염 물질임

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 산업용 환경에서 사용할 경우 메틸 메르캡탄은 가연성이며 높은 용량에서 두통, 메스꺼움, 눈 자극 및 호흡 곤란을 일으킬 수 있음
- ▶ 흡입 시 메틸 메르캡탄은 두통, 어지럼증, 메스꺼움, 눈 자극을 포함한 증상을 일으킬 수 있으며, 상당한 양의 메틸 메르캡탄 흡입은 더 심각한 건강 합병증을 초래할 수 있어 치명적일 수 있음
- ▶ 흡입은 메틸 메르캡탄에 노출되는 주요 경로이며, 액화 메틸 메르캡탄 가스의 증기는 공기보다 무겁고 땅을 따라 퍼져 환기가 잘 안되거나 밀폐 시 저지대에 노출되면 질식사가 발생할 수 있음
- ▶ 성인과 같은 수준의 메틸 메르캡탄에 노출된 어린이들은 작은 키와 땅 가까이에서 발견되는 더 높은 수준의 메틸 메르캡탄으로 인해 같은 장소에서 어른들보다 더 높은 수준에 노출될 수 있음
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 메틸 메르캡탄의 TLV (Threshold Limit Value) - 8시간 TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준): 0.5ppm
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 메틸 메르캡탄의 PEL (Permissible Exposure Limit) - C: 10ppm (20mg/m³)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 메틸 메르캡탄의 REL (Recommended exposure limit) - C: 0.5ppm (1mg/m³)
- ▶ NIOSH의 표적 기관 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 눈, 피부, 호흡기계, 중추신경계, 혈액, 150ppm

참고문헌

- SafeGase, About Natural Gas
- Norell, John; Louthan, Rector, P., 1988

21. 아민류 (Amines)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식		분자량	
끓는점		녹는점	
증기압		log Kow	
대기반감기		PBT 여부	
유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
-			

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 아민류는 질소 원자와 고립된 한 쌍을 포함하는 유기 화합물로, 기본적으로 하나 이상의 수소 원자가 알킬 또는 아릴기로 대체된 암모니아(NH₃)로부터 유래되어 각각 알킬아민 및 아릴아민으로 알려져 있음
- ▶ 자연적으로 발생하는 아민에는 특정 식물에 존재하는 알칼로이드, 카테콜아민 신경전달물질(즉, 도파민, 에피네프린, 노르에피네프린), 그리고 대부분의 동물 조직에서 발생하는 국소 화학적 매개체인 히스타민이 포함됨
- ▶ 아민류는 고무, 염료, 의약품, 합성수지 및 섬유를 제조하는 데 사용되는 주요 산업 상품이며 기타 여러 응용 분야에 사용됨
- ▶ 정수, 의약품 제조 및 살충제 개발에 사용됨
- ▶ 생물체에서 단백질의 구성 요소인 아미노산의 생산에 관여하며 많은 종류의 비타민들도 아민에 의해 만들어짐
- ▶ 세로토닌은 주요 신경전달물질 중 하나로 기능하는 중요한 아민이며 이는 배고픔의 감정을 조절하고 뇌가 일반적으로 작동하는 속도에 중요함
- ▶ 진통제로도 알려진 모르핀과 데메롤과 같은 진통제는 아민으로 만들어짐
- ▶ 아민류는 보일러 및 윤활유 부식 억제제, 고무·지붕 아스팔트의 산화 방지제, 셀룰로오스 질산염 폭발물의 안정제, 감마 방사선의 손상 방지제로 사용됨
- ▶ 사진의 현상제, 광산의 부유제, 섬유의 방부제 및 방수제, 섬유 유연제, 종이 코팅 및 제조

제 용해제. 일부 다기능 아민은 에페드린 및 에피네프린과 같은 귀중한 의약품이며, 노보카인과 같은 마취제로 쓰임

- ▶ 아민류가 사용되는 용도 관련 제조·가공시설 및 소각·처리시설에 의해 대기로 방출될 수 있음

(4) 배출량 정보

- ▶ 대기 중 존재하는 물질 중 독성, 대기오염도 등을 고려하여 대기오염의 원인으로 인정된 가스·입자상 물질로서 환경부령으로 정한 일반 대기오염물질임
- ▶ 기초 유기·무기화합물 및 가스 제조시설, 화학비료 및 질소화합물 제조시설, 의료용 물질 및 의약품 제조시설, 합성 고무·플라스틱제품 제조시설, 폐수·폐기물·폐가스 소각시설 등의 업종에서 발생 가능한 오염 물질임

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 5.9% 모노에탄올아민의 농도는 인간의 피부에 자극적임(Gillner, M. *et al.*, 1993)
- ▶ 작업 중 트리에탄올아민에 노출된 근로자에게 알레르기성 접촉 피부염, 홍반 수포 병변, 습진, 접촉성 피부염 및 자극이 유발됨
- ▶ 인체에서 다이에탄올아민은 5% 이상의 농도에서만 가벼운 피부 자극을 일으키며 피부에 약간의 과민성을 유발할 수 있음
- ▶ 인간에 의한 모노에탄올아민 흡입은 호흡 곤란 및 천식의 즉각적인 알레르기 반응 및 급성 간 손상 및 만성간염의 임상 증상을 유발하는 것으로 보고됨(Christian, 1983)
- ▶ 모노에탄올아민(MEA), 다이에탄올아민(DEA) 및 트리에탄올아민(TEA)은 피부, 눈 및 호흡기를 자극하며, 모노에탄올아민이 가장 자극적임(Knaak *et al.*, 1997)
- ▶ 다이에탄올아민은 IARC (the International Agency for Research on Cancer)에서 Group 2B의 인체 발암 가능 물질로 분류됨
- ▶ 트리에탄올아민은 IARC에서 Group 3의 인체 발암 분류 불가 물질로 분류됨
- ▶ 독성 수치 - 6시간 모노에탄올아민 air 흡입에 의한 LC₅₀ (Lethal concentration 50 percent kill): rat, > 1.3mg/L (ECHA, Unnamed, 1988)

참고문헌

- Gillner, M. *et al.*, 1993
- Christian, 1983
- Knaak *et al.*, 1997
- ECHA, Unnamed, 1988

22. 사염화탄소 (Carbon tetrachloride)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	CCl ₄	분자량	153.8
끓는점	76.7°C	녹는점	-22.2°C
증기압	115mmHg at 25°C	log Kow	2.83
대기반감기	> 400년	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성독성-경구	3 (위험)	H301	삼키면 유독함
급성독성-경피	3 (위험)	H311	피부와 접촉하면 유독함
급성독성-흡입	3 (위험)	H331	흡입하면 유독함
발암성	2 (경고)	H351	암을 일으킬 것으로 의심됨
특정 표적장기 독성-반복 노출	1 (위험)	H372	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킴 (간, 신장)
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성 만성	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함
오존층 유해성	1 (경고)	H420	대기 상층부의 오존층을 파괴하여 공공의 건강 및 환경에 유해함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2014-12-30	제한물질: 환경부고시 제2014-238호	옥외살충제용으로는 제조, 수입, 판매, 보관·저장, 운반, 사용을 금지
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	CMR, STOT

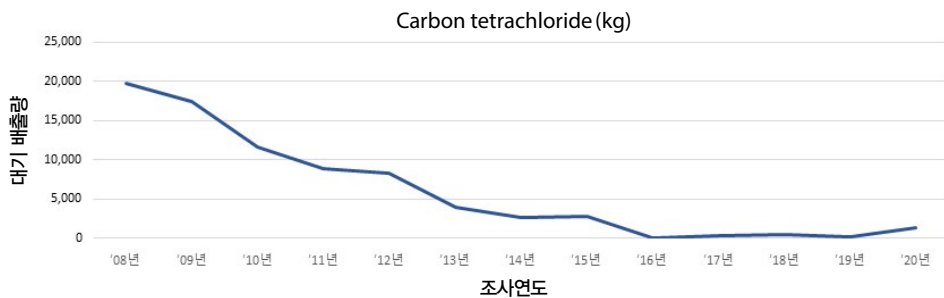
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 생성된 사염화탄소의 대부분은 CFC의 생산에 사용되며, CFC는 주로 냉매, 추진제, 발포제 및 용제로 사용되며, 기타 염소화 탄화수소의 생산에도 사용됨
- ▶ 사염화탄소는 중요한 상업용 화학물질로 용매 및 기타 화학물질의 제조에 사용됨

- ▶ 곡물 훈증제, 살충제, 유지용 용제, 금속 탈지제, 소화기 및 난연제, 페인트, 잉크, 플라스틱, 세정제 용도로 이전에는 널리 사용되었지만, 생산량이 감소함에 따라 단계적으로 폐지됨 (ECDIN, 1992; ATSDR, 1994)
- ▶ 섬유제품(염색가공공장) 제조시설, 기초 유기화합물 및 가스 제조시설, 금속가공제품·기계·기기·운송장비·가구 제조시설, 폐수·폐기물·폐가스 소각시설, 폐유 정제시설의 업종에서 발생 가능한 오염 물질임

(4) 배출량 정보

- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 6,012kg/년의 사염화탄소가 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 사염화탄소 배출량 변화〉

- ▶ 사염화탄소의 주요 업종별 기여율은 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)이 가장 높으며, 2020년 1,415kg/년의 사염화탄소가 배출되었음

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 사람 피부에 국소적으로 노출될 경우 즉시 제거하지 않으면 홍반, 충혈 및 발진과 함께 통증을 유발함(Gosselin, R.E., Smith, R.P., Hodge, H.C., 1984)
- ▶ 직접 접촉 시 피부와 눈의 자극을 유발할 수 있고 탈지 작용을 통한 피부염이 발생함 (O'Neil, M.J., 2013)
- ▶ 사고로 섭취할 경우 독성 증상이 초래될 수 있으며 동물실험 결과 40g 미만의 섭취는 치명적이거나 개인 건강에 매우 심한 손상을 일으킬 수 있음
- ▶ 경구 흡입 시 중추신경계의 기능 저하, 흥분의 특정화, 두통, 어지러움, 졸림 그리고 구역질을 유발할 수 있음
- ▶ 고용량에서 심장, 신장, 간 독성을 일으킬 수 있음
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중

평균노출기준) 25ppm(18mg/m³)

- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 사염화탄소의 TLV (Threshold Limit Value) - TWA: 5ppm (피부)
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 사염화탄소의 PEL (Permissible Exposure Limit) TWA: 10ppm (피부)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 사염화탄소의 REL (Recommended exposure limit) - 60분 STEL (short-term exposure limit): 2ppm
- ▶ NIOSH의 표적 기관 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 중추신경계, 눈, 폐, 간, 신장, 피부, 200ppm
- ▶ 독성 수치 - 사염화탄소 흡입에 의한 LD₅₀ (Lethal dose for 50% kill): rats 8000ppm, mouse 9526ppm (Lewis, R.J. Sr, 2004)
- ▶ EPA IRIS (Integrated Risk Information System)의 호흡 노출에 대한 간의 지방 변화 증상: RfC=1 × 10⁻¹ mg/m³ (Nagano *et al.*, 2007b; JBRC, 1998)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	POD	Composite UF
간장	1 × 10 ⁻¹	간의 지방 변화	BMDL ₁₀ (HEC): 14.3mg/m ³	100

RfC (Reference Concentration), POD (Point of Departure), BMDL (Benchmark Dose Lower bound), UF (Uncertainty Factor)

- ▶ EPA IRIS의 호흡 노출에 대한 혈색소세포종 발암성: Unit Risk=6 × 10⁻⁶ per µg/m³ (Nagano *et al.*, 2007b; JBRC, 1998)

Tumor site	Tumor type	Unit Risk
내분비계	혈색소세포종	6 × 10 ⁻⁶ per µg/m ³

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- ECDIN, 1992; ATSDR, 1994
- 「대기오염물질배출량」, 환경부
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- Gosselin, R.E., Smith, R.P., Hodge, H.C., 1984
- O'Neil, M.J., 2013
- Lewis, R.J. Sr, 2004
- Nagano *et al.*, 2007b; JBRC, 1998

23. 이황화탄소 (Carbon disulfide)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C-S ₂	분자량	76.14
끓는점	46.2°C	녹는점	-112.1°C
증기압	359mmHg at 25°C	log Kow	1.94
대기반감기	12일	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	2 (위험)	H225	고인화성 액체 및 증기
급성독성-흡입	2 (위험)	H330	흡입하면 치명적임
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
생식독성	2 (경고)	H361	태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 것으로 의심됨
특정 표적장기 독성-반복 노출	1 (위험)	H372	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킴 (신경계 (PNS & CNS), 심혈관계, 눈)

(2) 규제정보

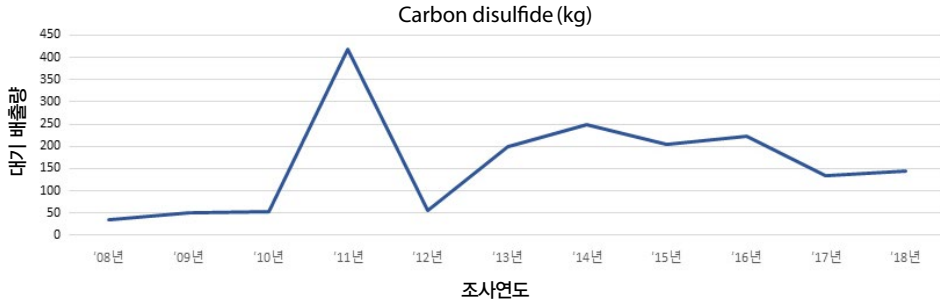
고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	10ppm
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	STOT

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 이황화탄소의 자연 공급원은 바다, 생물학적 활동이 높은 해안 지역, 토양, 습지 등이 포함됨
- ▶ 이황화탄소는 재생 셀룰로오스 레이온, 셀로판, 반도체의 생산에 원료로 사용됨
- ▶ 사염화탄소, xanthates, thiocyanates, 합판 접착제 및 고무 부속품의 생산에 사용되며, 공기 분석에서 숲에 흡착된 유기물질의 용매 및 용리제로도 사용됨
- ▶ 타이어를 생산하기 위해 고무를 용해하는 산업용 용매 및 화학 중간체로 사용되며, 곡물 훈증, 분석 화학 연구, 탈지, 드라이 클리닝 및 오일 추출에도 사용됨
- ▶ 펄프·종이·인쇄 및 기록매체 제조시설, 기초 유기·무기화합물 및 가스 제조시설, 비금속광물제품 제조시설, 1차 금속 제조시설, 발전시설, 폐수·폐기물·폐가스 소각시설, 제재 및 목재 가공시설 등의 다양한 업종에서 발생 가능한 오염 물질임

(4) 배출량 정보

- ▶ 2008년부터 2018년까지 평균 161kg/년의 이황화탄소가 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 이황화탄소 배출량 변화〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 급성 영향은 주로 눈, 점막, 상기도의 국소 자극을 유발하며, 고농도 흡입 시 섬망, 환각, 경련, 혼수가 발생함(Dart, 2004)
- ▶ 이황화탄소는 피부의 지방층을 녹이며, 액체에 손을 넣은 근로자에서 건조하고 갈라진 피부, 습진성 병변, 궤양이 나타남(Lefaux, R., 1968)
- ▶ 만성적 노출에서 중추신경계가 손상되고 가장 흔한 초기 증상으로 시력 장애와 감각 변화를 초래함
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 이황화탄소의 PEL (Permissible Exposure Limit) - TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준): 20ppm
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 이황화탄소의 PEL (Permissible Exposure Limit) - C: 30ppm
- ▶ NIOSH(National Institute of Occupational Safety & Health)의 표적 기관 및 IDLH(Immediately dangerous to life and health): 중추신경계, 말초 신경계, 심혈관계, 눈, 신장, 간, 피부, 생식계, 500ppm
- ▶ 독성 수치 - 이황화탄소 4시간 흡입에 의한 LC₅₀ (Lethal concentration 50 percent kill): rats 10.35mg/L (ECHA, 2010)
- ▶ EPA IRIS (Integrated Risk Information System)의 호흡 노출에 대한 말초 신경계 기능 장애 증상: RfC=7×10⁻¹ mg/m³(Johnson *et al.*, 1983)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	POD	Composite UF
신경계	7×10^{-1}	말초 신경계 기능 장애	BMC ₁₀ (HEC): $1.97 \times 10^{-1} \text{mg/m}^3$	30

RfC (Reference Concentration), POD (Point of Departure), BMC (Benchmark Concentration), UF (Uncertainty Factor)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- 「대기오염물질배출량」 환경부, 2020
- Dart, 2004
- Lefaux, R., 1968
- ECHA, 2010
- Johnson *et al.*, 1983

24. 탄화수소 (Hydrocarbons)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식		분자량	
끓는점		녹는점	
증기압		log Kow	
대기반감기		PBT 여부	
유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
-			

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	40~200ppm
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 탄화수소는 탄소와 수소 두 종류의 원자로만 구성된 유기 화합물로 다양한 범위의 분자 구조 및 상에서 발생함(Silberberg, Martin, 2004)
- ▶ 탄화수소의 성상은 가스(메테인 및 프로판 등), 액체(헥산 및 벤젠 등), 저융해 고체(파라핀 왁스 및 나프탈렌 등), 중합체(폴리에틸렌 및 폴리스티렌 등)의 형태를 가짐
- ▶ 화석 연료 산업에서 탄화수소는 자연적으로 발생하는 석유, 천연가스 및 석탄 또는 탄화수소 유도체 및 정제된 형태를 의미함
- ▶ 탄화수소의 연소는 세계 에너지의 주요 공급원이며, 석유는 용제 및 폴리머와 같은 유기물품 화학물질의 주요 원료 공급원임
- ▶ 탄화수소의 주요 용도는 가연성 연료 공급원으로 메탄은 천연가스의 주요 성분임
- ▶ 탄화수소에서 메탄과 반대되는 극단에는 원유 정제 반응에서 가장 낮은 비율로 남아 있는 물질인 타르가 있으며, 지붕 화합물, 포장 조성물(bitumen), 목재 보존제(크레오소트 계열) 및 초고점도의 전단 저항성 액체로 수집되어 널리 사용됨
- ▶ 탄화수소는 플라스틱, 섬유, 고무, 용제, 폭발물 그리고 산업 화학물질의 생산을 위한 원료뿐만 아니라 연료와 운할제 역할을 함
- ▶ 탄화수소를 주요 에너지원으로 사용하면 환경적으로 심각한 비용이 발생하며 원유, 천연가스, 석탄과 같은 화석 연료 연소 시 주로 이산화탄소인 온실가스를 공기 중으로 방출하게

돼 기후 변화에 기여함

- ▶ 총 비메탄 유기 탄소 배출량의 10%는 휘발유 차량의 배기가스에서 발생하는 방향족 탄화수소임(Barnes, 2020)

(4) 배출량 정보

- ▶ 대기 중 존재하는 물질 중 독성, 대기오염도 등을 고려하여 대기오염의 원인으로 인정된 가스·입자상 물질로서 환경부령으로 정한 일반 대기오염물질임
- ▶ 섬유제품 제조시설, 기초 유기·무기화합물 및 가스 제조시설, 의료용 물질 및 의약품 제조시설, 기타 화학제품 및 탄화시설, 합성 고무·플라스틱제품 제조시설, 시멘트 제조시설, 1차 금속 제조시설, 발전시설, 폐수·폐기물 처리시설 등의 업종에서 발생 가능한 오염 물질임

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 탄화수소를 삼키거나 흡입 시 기침, 기도 폐쇄, 호흡 곤란, 및 신경 문제를 동반한 폐 자극을 유발할 수 있으며 탄화수소는 표면 장력이 낮고 점도가 낮아 폐 깊숙이 침투하여 심각한 피사성 폐렴으로 이어질 수 있음
- ▶ 계면활성제, 기도 상피, 치조중격, 폐 모세혈관을 파괴하여 염증, 무전기증, 열을 유발할 수 있음
- ▶ 운동 또는 스트레스 후 연기를 들이마시거나 흡입하면 불규칙한 심장 박동, 빈맥, 또는 돌연사를 유발할 수 있음
- ▶ 섭취 시 GI관 자극 및 상피의 파괴를 유발하여 메스꺼움, 구토, 복통 및 혈소판 감소를 초래할 수 있고 일부 용제는 간 독성으로 이어질 수 있음
- ▶ 탄화수소(주로 톨루엔)는 대사성 산증을 유발하여 신뇨관 산증, 요로결석증, 사구체신염, 고콜레스테롤혈증 및 저칼륨혈증을 유발할 수 있고 남용 시 근위부 및 원위부 관상이 모두 손상될 수 있음
- ▶ 피부에 노출 시 가벼운 자극이 발생하거나, 장시간 노출 시 표면적 화상에서 전체 두께 화상까지 다양한 화학적 화상을 입음
- ▶ 구강으로 발견된 피부 자극은 “글루 스니퍼 발진”으로 알려져 있고 피부 병변은 불레 또는 물집으로 나타날 수 있으며 다른 피부 증상으로는 황달 및 점막 자극이 포함됨

참고문헌

- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- Silberberg, Martin, 2004
- Barnes, 2020

25. 인 및 그 화합물 (Phosphorous Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	P	분자량	30.97
끓는점	280°C	녹는점	44.1°C
증기압	0.03mmHg at 20°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
-			

(2) 규제정보

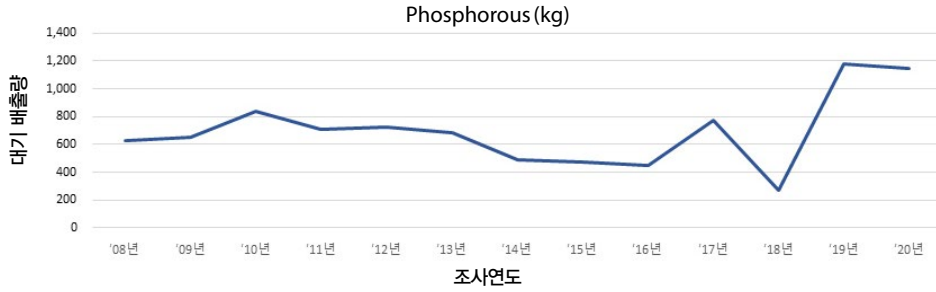
고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

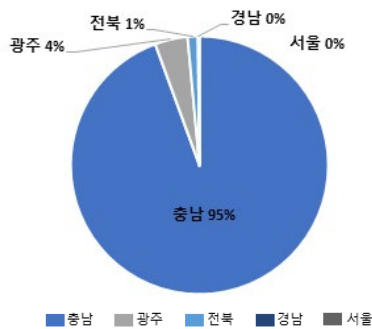
- ▶ 인은 동·식물의 필수 성분으로 DNA, 뼈, 치아 및 생물학적으로 중요한 다른 성분에 존재함
- ▶ 삼인산 나트륨은 세제에서 발견되는 주요 인산염으로 물을 부드럽게 하는 역할을 하고 경수를 책임지는 요소를 상쇄하는 동시에 세제를 더 효과적인 세정제로 만들
- ▶ 군사 용도에서 흰인은 박격포용 탄약이나 대포 껍질 및 소통 수류탄으로써 사용됨
- ▶ 안전성냥 성분, 반도체 첨가제, 전장 발광 코팅료로 사용됨
- ▶ 반도체 제조 및 처리, 화장로 시설, 기타 인 화학물질의 제조과정에서 공기 중으로 방출될 수 있음

(4) 배출량 정보

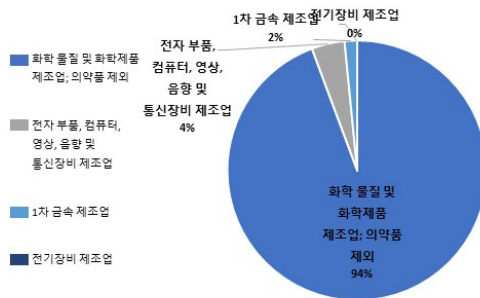
- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 694kg/년의 인이 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 인 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 인의 많은 화합물은 화재 위험과 인간과 동물의 신경계에 치명적인 독이 되어 위험함
- ▶ 고체 또는 액체는 심한 피부 화상을 일으킴
- ▶ 섭취 시 메스꺼움, 구토, 황달, 저혈압, 우울, 섬망, 혼수상태를 일으킬 수 있고 섭취 후 증상은 수 시간에서 3일 동안 지연될 수 있음
- ▶ 인 노출에 의한 보유량의 증가는 종종 만성 신장 질환 미네랄과 뼈 장애를 초래함(Moe, S., Druke, T., Cunningham, J., *et al.*, 2006)
- ▶ 너무 많은 인산염은 신장 손상과 골다공증과 같은 건강 문제를 일으킬 수 있음
- ▶ 단기간 높은 인 섭취량(예: 하루 섭취 인산나트륨 6,600mg 2회)은 고인산혈증을 유발할 수 있음(Beloosesky, Y., Grinblat, J., Weiss, A. *et al.*, 2003)
- ▶ 흰인은 가장 위험한 형태의 인으로 인간의 흰인에 대한 만성적 노출은 “phossy jaw”라고 불리는 턱의 괴사를 초래함
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA(Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) 0.1mg/m³
- ▶ ACGIH(The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 노란인의 TLV(Threshold Limit Value) TWA: 0.1mg/m³

- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 노란인의 PEL (Permissible Exposure Limit) TWA: $0.1\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 노란인의 REL (Recommended exposure limit) TWA: $0.1\text{mg}/\text{m}^3$
- ▶ NIOSH의 표적 기관 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 눈, 피부, 호흡기계, 간, 신장, 턱, 치아, 혈액, $5\text{mg}/\text{m}^3$

참고문헌

- 「대기오염물질배출량」, 환경부
- Moe, S., Druke, T., Cunningham, J. *et al.*, 2006
- Beloesesky, Y., Grinblat, J., Weiss, A., *et al.*, 2003
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정

26. 붕소 화합물 (Boron Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	B	분자량	10.81
끓는점	3658°C	녹는점	2167°C
증기압	1.19×10^{-3} mmHg at 2140°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
-			

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기준화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 붕소는 자연적으로 발생하는 원소로 비교적 낮은 농도로 자연계에 널리 분포함 (Woods, 1994)
- ▶ 일반적인 붕소 화합물은 붕산, 붕산염 및 boron oxide가 포함됨
- ▶ 붕산은 화장품, 의약품 그리고 세면도구에 사용되며, cellulose 단열재, 목재 합성물의 가연성을 줄이기 위해 사용됨
- ▶ Borates는 접착제 제조에 사용되며 윤활유, 금속 가공액, 수처리 화학물질 및 연료 첨가제에 첨가됨 (USGS, 2008)
- ▶ 살충제, 살균제 및 제초제로 사용됨
- ▶ 붕소 코팅된 텅스텐 전선, 로켓 발사 화약 혼합물, 고온 녹쇠 합금에 사용됨
- ▶ 구리와 기타 금속을 위한 산소제거제, 금속 또는 세라믹, 반도체 합성물의 첨가와 단섬유로 사용됨
- ▶ 특수 목적의 합금으로 쓰이며, 합금에 일반적으로 기타 금속을 단단하게 만드는 데 사용됨
- ▶ Borates는 천연 및 산업 자원에서 공기로 방출되며, 천연자원에는 해양, 화산, 지열 증기가 포함됨 (Graedel, 1978)
- ▶ 붕소 화합물은 섬유 유리 및 기타 제품을 생산하는 제조시설뿐만 아니라 석탄 연소식 및

지열 증기 발전소, 화학 공장 및 로켓과 같은 인위적인 선원에서 방출됨(EPA, 1987; Graedel, 1978; Hollis *et al.*, 1988; Lang *et al.*, 1986; Stokinger, 1981)

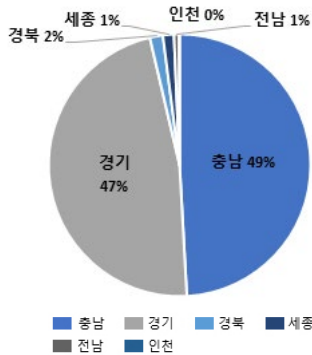
(4) 배출량 정보

- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 28,013kg/년의 붕소 배출되었음

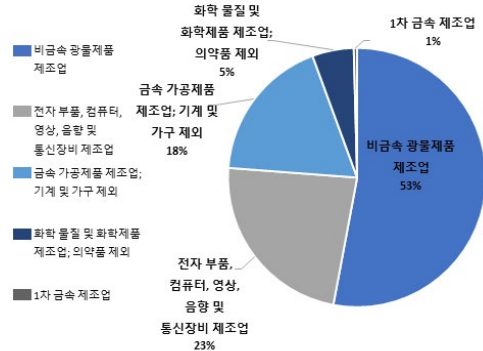
(자료 출처: 「대기오염물질배출량, 환경부」)



〈연도별 대기 중 붕소 배출량 변화〉



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 붕사 중독을 유발하며 메스꺼움, 구토, 설사와 상부 복통을 유발함
- ▶ 호흡 기능 장애, 기도 질환, 폐기종 또는 만성 기관지염 증상을 가진 환자의 경우 많은 양의 분진을 흡입하면 증상이 더 악화될 수 있음
- ▶ 높은 수준의 붕소에 급성 노출될 시 메스꺼움, 구토, 복통, 경련이 발생할 수 있음(Lea, Febiger, 1988)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서

의 Borate compounds의 TLV (Threshold Limit Value) - 8시간 TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) $2\text{mg}/\text{m}^3$, STEL (Short Term Exposure Limit) - 15분 TWA $6\text{mg}/\text{m}^3$

- ▶ 독성 수치 - 봉산 47분 급성 흡입에 의한 NOAEL (No Observed Adverse Effect Level): Human $0.9\text{mg}/\text{m}^3$ (Cain *et al.*, 2008)

참고문헌

- Woods, 1994
- USGS, 2008
- Graedel, 1978
- EPA, 1987; Graedel, 1978; Hollis *et al.*, 1988; Lang *et al.*, 1986; Stokinger, 1981
- 「대기오염물질배출량」 환경부, 2020
- Lea, Febiger, 1988
- Cain *et al.*, 2008

27. 아닐린 (Aniline)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₆ H ₇ N	분자량	93.13
끓는점	184.1°C	녹는점	-6.2°C
증기압	0.49mmHg at 25°C	log Kow	0.9~0.98
대기반감기	3.3시간	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성독성-경구	3 (위험)	H301	삼키면 유독함
급성독성-경피	3 (위험)	H311	피부와 접촉하면 유독함
급성독성-흡입	3 (위험)	H331	흡입하면 유독함
심한 눈 손상/눈 자극성	1 (위험)	H318	눈에 심한 손상을 일으킴
피부 과민성	1 (경고)	H317	알레르기성 피부 반응을 일으킬 수 있음
생식세포 변이원성	2 (경고)	H341	유전적인 결함을 일으킬 것으로 의심됨
발암성	2 (경고)	H351	암을 일으킬 것으로 의심됨
특정 표적장기 독성-반복 노출	1 (위험)	H372	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킴 (혈액 및 조혈계)
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성 만성	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2021-12-28	유독물질: 국립환경과학원고시 제2021-103호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	CMR, STOT

(3) 사용용도 및 대기배출원

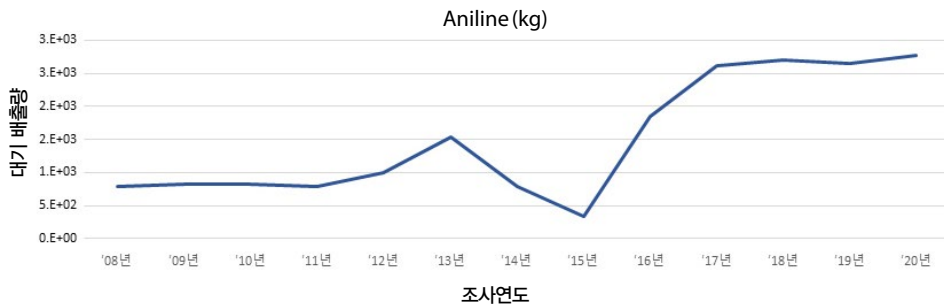
- ▶ 아닐린은 주로 formaldehyde와 결합하여 methylenedianiline 및 관련 화합물을 제조하는 데 사용되며, diamines은 포스겐으로 응축되어 우레탄 중합체의 전구체인 methylene diphenyl diisocyanate를 생성함(Kahl, Thomas, 2007)
- ▶ 아닐린은 전 세계적으로 소비되는 모든 분해 방지제의 약 70%를 차지하는 원료임

- ▶ 염료, 의약품, 수지, 광택제, 향수, 구두담이 제조에 사용되며, 고무 경화제 용매로 사용됨
- ▶ 아닐린은 폴리우레탄, 산화 방지제 및 가황 촉진제, isocyanates를 제조하기 위한 화학 중간체로 사용되며, 농업용 살균제, 제초제 및 살충제의 제조 및 특정 염료의 제조에도 사용됨
- ▶ 기초 유기 화합물 및 가스 제조시설, 무기안료·염료·유연제·착색제 제조시설, 합성 고무·플라스틱제품 제조시설, 비금속광물제품 제조시설, 폐수·폐기물·폐가스 소각시설 등의 업종에서 발생 가능한 오염 물질임

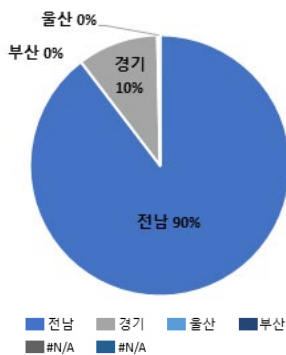
(4) 배출량 정보

- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 1,499kg/년의 아닐린이 배출되었음

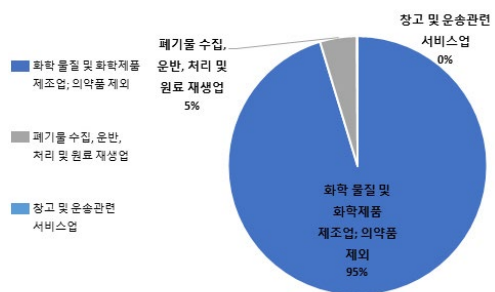
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 아닐린 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 아닐린은 경증부터 중증의 눈 자극, 각막 손상, 변색을 유발할 수 있음(ATSDR, 2018)
- ▶ 급성 아닐린 노출은 혼란, 귀 울림, 쇠약, 방향 감각 상실, 현기증, 걸음걸이 장애, 무기력함과 졸림, 경련, 의식 상실, 혼수상태를 일으킬 수 있으며, 이러한 효과는 보통 일시적이며 산소

부족에 의한 경우가 많음

- ▶ 급성 아닐린 노출은 고통스러운 배뇨를 일으킬 수 있고, 소변에서 혈액, 헤모글로빈이나 메트 헤모글로빈을 유발시킬 수 있으며 소변 감소, 급성 신부전을 일으킬 수 있고 방광 벽 자극, 신장 궤양, 조직 사멸 또한 발생할 수 있음
- ▶ 아닐린으로 인한 심한 사망자의 병리 소견으로는 초콜릿 색 혈액, 신장, 간, 비장의 손상, 용혈이 있으며 방광 벽 궤양과 괴사 또한 발생할 수 있음(Dreisbach, 1987)
- ▶ 아닐린 증기를 7~53ppm 농도로 흡입하면 Methemoglobin 혈증의 증상이 약간 나타나지만, 100~160ppm을 초과하는 농도에 1시간 이상 노출 시에 경련, 빈맥, 두통, 현기증이 유발될 수 있음(Henderson, Y., 1943)
- ▶ 급성 아닐린 중독에 의한 현저한 증상은 청색병, 눈물 분비, 떨림, 빈맥, 메트 헤모글로빈으로 인한 혼수상태, 낮은 수준의 설프헤모글로빈과 하인즈소체의 형성이었음(Snyder, 1990)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health)의 표적 장기 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 혈액, 심혈관계, 눈, 간, 신장, 호흡기계, 100ppm
- ▶ 독성 수치 - 아닐린 7시간 흡입에 의한 LC₅₀ (Lethal concentration 50 percent kill): mouse 175ppm (Lewis, R.J. Sr. (ed), 2004)
- ▶ EPA IRIS (Integrated Risk Information System)의 호흡 노출에 대한 Methemoglobin 증가, 비장 독성: RfC=1×10⁻³ mg/m³ (Oberst *et al.*, 1956)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	POD	Composite UF
혈액	1×10 ⁻³	Methemoglobin 증가, 비장 독성	NOAEL (HEC): 3.4mg/m ³	3000

RfC (Reference Concentration), POD (Point of Departure), NOAEL (No Observed Adverse Effect Level), UF (Uncertainty Factor)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- Kahl, Thomas, 2007
- 「대기오염물질배출량」 환경부, 2020
- ATSDR, 2018
- Dreisbach, 1987
- Henderson, Y., 1943
- Snyder, 1990
- Lewis, R.J. Sr. (ed), 2004
- Oberst *et al.*, 1956

28. 벤젠 (Benzene)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₆ H ₆	분자량	78.11
끓는점	80°C	녹는점	5.5°C
증기압	94.8mmHg at 25°C	log Kow	2.13
대기반감기	13.4일	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	2 (위험)	H225	고인화성 액체 및 증기
피부 부식성/자극성	2 (경고)	H315	피부에 자극을 일으킴
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
생식세포 변이원성	1 (위험)	H340	유전적인 결함을 일으킬 수 있음
발암성	1 (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음
특정 표적장기 독성-반복 노출	1 (위험)	H372	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킴 (조혈계)
흡인 유해성	1 (위험)	H304	삼켜서 기도로 유입되면 치명적일 수 있음
수생환경 유해성 만성	만성 2	H411	장기적 영향에 의해 수생생물에 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2022-12-06	대기환경기준: 환경정책기본법	연간평균치 5µg/m ³ 이하
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	6ppm
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	CMR, STOT

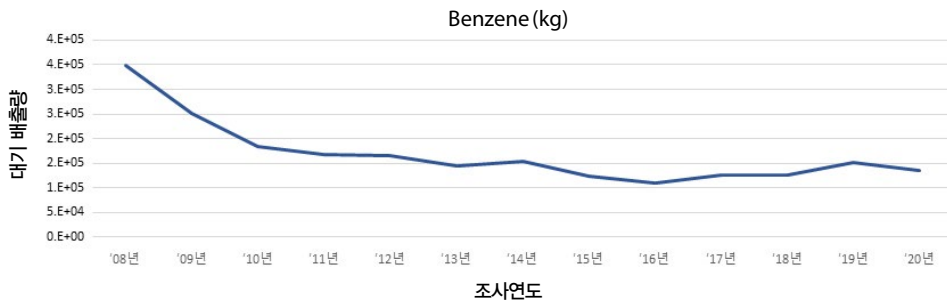
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 에틸벤젠, 사이클로헥세인, 나이트로벤젠, 클로로벤젠, 알킬레이트 세제, 안트라퀴논, 벤젠 설폰산, 바이페닐과 레소시놀의 화학물질 중간체로 쓰임
- ▶ 폴리머, 세제, 살충제, 염료, 플라스틱과 같은 산업용 화학물질 제조에 사용됨
- ▶ 인조 가죽, 리놀륨, 유포, 비행기 도프 도료, 락커 등에 쓰이며, 왁스, 수지, 오일 등의 용제로도 사용됨

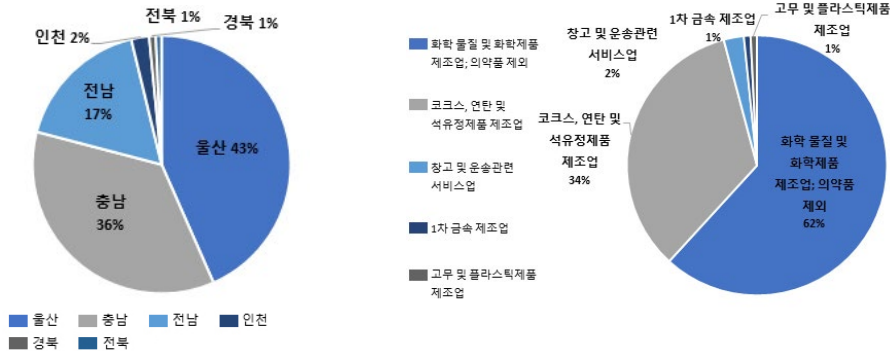
- ▶ 현재 용제로서의 사용은 금지하고 있으며 가솔린의 첨가제로 사용하고 있어 상업용 가솔린을 생산하는 많은 나라에서 여전히 광범위하게 사용됨
- ▶ 벤젠은 석탄 및 콜타르 종류 제품과 가솔린과 같은 석유 제품에서 발생하며 산업폐기물, 건설 잔해 및 조정 폐기물 매립지의 가스 및 침출수에서 발견됨

(4) 배출량 정보

- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 168,490kg/년의 벤젠이 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 벤젠 배출량 변화〉



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉

〈업종별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 눈, 피부, 폐에 직접 노출 시 조직 손상과 자극이 일어남(CDC, 2014)
- ▶ 높은 함량의 벤젠에 노출되면 숨이 차고 몇 분에서 몇 시간 내에 졸음, 현기증, 급격하거나 불규칙한 심장 박동, 두통, 떨림, 혼수상태 무의식 증상이 나타날 수 있으며 매우 높은 농도에 노출되면 사망할 수 있음
- ▶ 높은 함량의 벤젠을 함유한 음식이나 음료를 섭취하면 몇 분에서 몇 시간 내에 구토, 위장

자극, 현기증, 졸음, 경련, 급격하거나 불규칙한 심장 박동이 일어날 수 있으며 매우 높은 농도일 경우 사망할 수 있음

- ▶ 벤젠은 골수에 해로운 영향을 미치고 적혈구를 감소시켜 빈혈을 일으킴
- ▶ 출혈성, 재생불량성 빈혈을 일으키는 혈액 생성에 특이적인 독성 영향을 미치며 벤젠의 전신 독성은 망막과 결막 출혈을 일으키고 드물게 망막 출혈을 수반하는 신경 망막 부종과 유두부종이 나타남(Grant, W.M., 1986)
- ▶ 면역계에 영향을 미쳐 감염 가능성이 커질 수 있으며, 벤젠에 노출된 임신 동물에서 태아 체중감소, 지연된 뼈 형성 및 골수 손상이 나타남
- ▶ 공기 중 고농도 벤젠에 장기간 노출 시 혈액암인 백혈병이 나타날 수 있음
- ▶ 벤젠이 폐로 흡인될 시 급성 출혈성 폐렴의 발생 가능성이 높아짐(Gosselin, R.E., 1984)
- ▶ IARC (the International Agency for Research on Cancer)에서 Group 1의 인체 발암성이 확인된 물질로 분류됨
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) 1ppm (3mg/m³), STEL (Short Term Exposure Limit) 5ppm (16mg/m³)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 벤젠의 TLV (Threshold Limit Value) - TWA: 0.5ppm
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 벤젠의 PEL (Permissible Exposure Limit) - TWA 1ppm, PEL-STEL 5ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 벤젠의 REL (Recommended exposure limit) - TWA 0.1ppm, REL-STEL 1ppm
- ▶ NIOSH의 표적 장기 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 눈, 피부, 호흡기계, 혈액, 중추신경계, 골수, 500ppm
- ▶ 독성 수치 - 벤젠 air 흡입에 의한 LC₅₀ (Lethal concentration 50 percent kill): rats 43767mg/m³ (Toxic. Appl. Pharmacol., 1974)
- ▶ EPA IRIS (Integrated Risk Information System)의 호흡 노출에 대한 림프구 수 감소: RfC=3 × 10⁻² mg/m³ (Rothman *et al.*, 1996)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	POD	Composite UF
면역계	3 × 10 ⁻²	림프구 수 감소	BMCL: 8.2mg/m ³	300

RfC (Reference Concentration), POD (Point of Departure), BMCL (Benchmark concentration), UF (Uncertainty Factor)

- ▶ EPA IRIS의 호흡 노출에 백혈병 발암성: Unit Risk=2.2 × 10⁻⁶ μg/m³, 7.8 × 10⁻⁶ μg/m³ (Rinsky *et al.*, 1981, 1987; Paustenbach *et al.*, 1993; Crump and Allen, 1984; Crump, 1992, 1994; U.S. EPA, 1998)

Tumor site	Tumor type	Unit Risk
혈액	백혈병	2.2×10^{-6} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 7.8×10^{-6} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- Oak Ridge National Laboratory, 1989
- 「대기오염물질배출량」 환경부, 2020
- CDC, 2014
- Grant, W.M., 1986
- Gosselin, R.E., 1984
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- Toxic. Appl. Pharmacol., 1974
- Rothman *et al.*, 1996
- Rinsky *et al.*, 1981, 1987; Paustenbach *et al.*, 1993; Crump and Allen, 1984; Crump, 1992, 1994; U.S. EPA, 1998

29. 스티렌 (Styrene)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₈ -H ₈	분자량	104.15
끓는점	145°C	녹는점	-31°C
증기압	6.4mmHg at 25°C	log Kow	2.95~3.05
대기반감기	7.2시간	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	3 (경고)	H226	인화성 액체 및 증기
급성독성-흡입	4 (경고)	H332	흡입하면 유해함
피부 부식성/자극성	2 (경고)	H315	피부에 자극을 일으킴
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
생식독성	2 (경고)	H361	태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 것으로 의심됨
특정 표적장기 독성-1회 노출	3 (경고)	H335	호흡기 자극을 일으킬 수 있음
특정 표적장기 독성-반복 노출	1 (위험)	H372	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킴 (청각 기관)
흡인 유해성	1 (위험)	H304	삼켜서 기도로 유입되면 치명적일 수 있음

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	23ppm
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2021-06-22	유독물질: 국립환경과학원고시 제2021-36호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	CMR, STOT

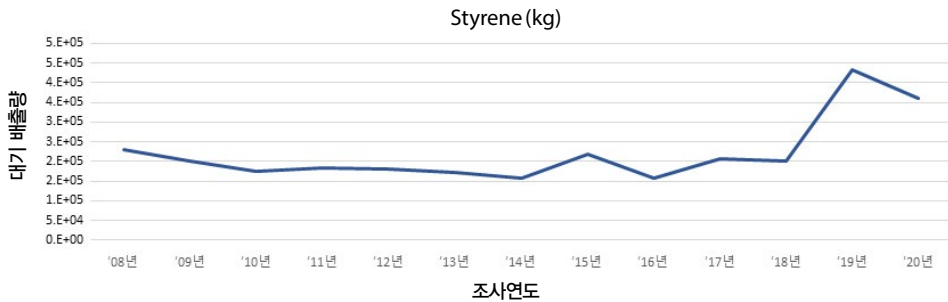
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 스티렌은 합성 고무, 접착제와 플라스틱의 중요한 단량체임
- ▶ 스티렌 뷰타다이엔 고무와 폴리스타이렌 수지, 폴리에스터 유리섬유 강화 플라스틱 및 코팅의 합성에 사용됨
- ▶ 다양한 가전제품 및 산업 분야에서 널리 사용되는 아크릴로나이트릴 및 뷰타다이엔의 공중합과 같은 다양한 엔지니어링 플라스틱을 생산하기 위한 다른 단량체와의 공중합에도 사용됨

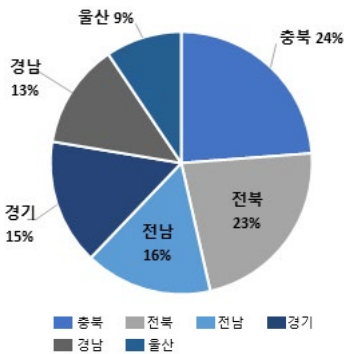
- ▶ 가교 모노머로서 PVC, 폴리프로필렌, 불포화 폴리에스터의 개질에 사용됨
- ▶ 스티렌은 다양한 변형 및 복합 재료를 사용하는 과학 분야에서 가장 일반적으로 사용되는 비닐 단량체 중 하나임
- ▶ 스티렌의 클로로 메틸화에 의해, cinnamyl chloride는 비마취성 진통제의 강한 통증 결정을 위한 중간체로 사용됨
- ▶ 산업 생산 및 사용 과정, 자동차 운전, 연소과정, 건축 자재 및 소비자 제품에 의해 대기로 배출될 수 있음

(4) 배출량 정보

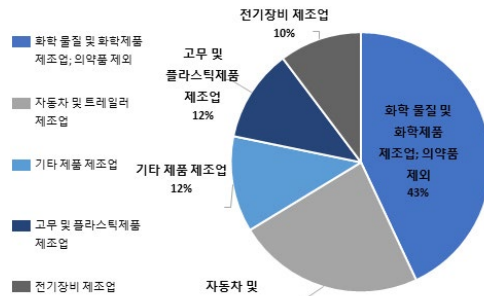
- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 221,151kg/년의 스티렌이 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 스티렌 배출량 변화〉



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 과다 노출의 잠재적 증상은 눈, 코, 호흡기 계통에 대한 자극이 나타났으며, 두통, 피로, 어지러움, 혼란, 불쾌감, 졸음, 허약 상태 및 비정상 보행, 간 손상, 생식에 대한 영향이 나타남(O'Neil, M.J. (ed), 2013)
- ▶ 일반적인 신경쇠약 증후군, 두통, 피로, 메스꺼움, 식욕 감퇴, 복부 팽창, 우울증, 건망증, 손가락 떨림 등을 유발하며 만성적 노출은 때때로 폐색성 폐 질환을 유발함
- ▶ IARC (the International Agency for Research on Cancer)에서 Group 2A의 인체 발암 추정물질로 분류됨
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) 20ppm (85mg/m³), STEL (Short Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 40ppm (170mg/m³)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 스틸렌의 TLV (Threshold Limit Value) - 8시간 TWA 20ppm, TLV-STEL 40ppm
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 스틸렌의 PEL (Permissible Exposure Limit) - TWA: 100ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 스틸렌의 REL (Recommended exposure limit) - TWA 50ppm (215mg/m³), REL-STEL 100ppm (425mg/m³)
- ▶ NIOSH의 표적 장기 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 눈, 피부, 호흡기계, 중추신경계, 간, 생식계, 700ppm
- ▶ 독성 수치 - 스틸렌 흡입에 의한 LC₅₀ (Lethal concentration 50 percent kill): rats 24mg/m³ (Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials, 2004)
- ▶ EPA IRIS (Integrated Risk Information System)의 호흡 노출에 대한 CNS (Central Nervous System, 중추 신경 계통) 영향: RfC=1mg/m³ (Mutti *et al.*, 1984)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	POD	Composite UF
신경계	1	CNS 영향	LOAEL (HEC): 34mg/m ³	30

RfC (Reference Concentration), POD (Point of Departure), LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level), UF (Uncertainty Factor)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- Ramesan, M.T., 2008
- Richard, A., 2013
- Andreea Simona CURIAC, Andrei PETRE, 2017
- KOLÁOVÁ Markéta., 2015
- 「대기오염물질배출량」 환경부, 2020
- O'Neil, M.J. (ed), 2013
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- Lewis, R.J. Sr., 2004
- Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials, 2004
- Mutti *et al.*, 1984

30. 아크롤레인 (Acrolein)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₃ -H ₄ -O	분자량	56.06
끓는점	52.3°C	녹는점	-87.8°C
증기압	274mmHg at 25°C	log Kow	-0.01
대기반감기	> 1일	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	2 (경고)	H350	고인화성 액체 및 증기
급성독성-경구	2 (경고)	H341	삼키면 치명적임
급성독성-경피	2 (경고)	H361	피부와 접촉하면 치명적임
급성독성-흡입	1 (위험)	H330	흡입하면 치명적임
피부 부식성/자극성	1 (위험)	H372	피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성 만성	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	미설정
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

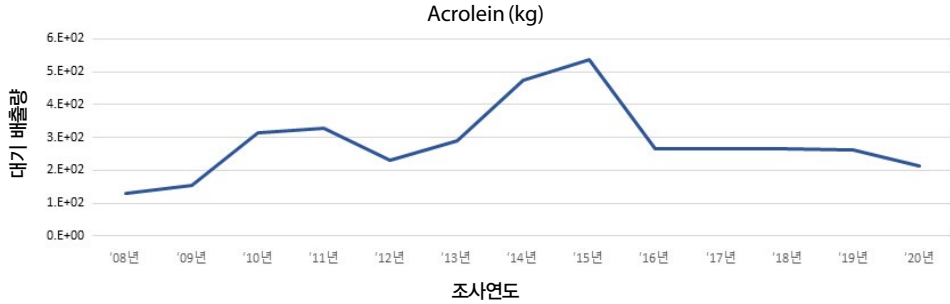
- ▶ 일반 환경뿐만 아니라 인체 내에서 내인성으로도 합성되며, 일반적으로 흡연을 통해 노출되는 물질임
- ▶ 아크롤레인은 미생물의 성장을 막거나 부식되는 것을 방지하고, 수생 잡초와 조류, 설치류를 제어하기 위한 제초제, 살충제로 사용됨
- ▶ 제지 제조에서 조직 고정제로 슬라임을 제어하고, 가죽 태닝에 사용됨
- ▶ 아크릴산 합성, 콜로이드 형태의 금속제조, 플라스틱, 향수 제조, 염화메틸 냉매의 경고 물질로 사용됨

- ▶ 아크롤레인은 목재나 건물 화재, 폴리에틸렌 또는 기타 고분자 물질이 연소할 때 발생하는 유독 가스 중 하나로 소방관들이 아크롤레인 가스에 노출될 위험이 큼

(4) 배출량 정보

- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 287kg/년의 아크롤레인이 배출되었음

(자료 출처: 「대기오염물질배출량, 환경부」)



〈연도별 대기 중 아크롤레인 배출량 변화〉

- ▶ 아크롤레인의 주요 업종별 기여율은 화학물질 및 화학제품 제조업(의약품 제외)이 가장 높으며, 2020년 287kg/년의 아크롤레인이 배출되었음

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 아크롤레인은 모든 노출 경로에서 유독하며 노출은 피부, 호흡기, 점막에서 염증과 자극을 유발하여 흡입 시 폐부종이 유발될 수 있고 전신적 효과는 어떠한 경로를 통한 노출에서도 일어날 수 있음
- ▶ 급성으로 이물질질을 흡입할 경우 폐 및 기도기능감소, 구경, 호흡계, 소화계에 심각한 자극을 일으킴
- ▶ 액체 아크롤레인이 피부에 노출되면 자극, 충혈, 부종이 일어나며, 눈에 노출될 경우 안검 결막염, 안검 부종, 섬유성이나 화농성 변성, 각막 손상이 강하며 지속적으로 알칼리 화상에 의해 심각한 손상이 유발될 수 있음(Grant, 1986)
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) 0.1ppm (0.25mg/m³), STEL (Short Term Exposure Limit) 0.3ppm (0.8mg/m³)
- ▶ OSHA (the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 아크롤레인의 PEL (Permissible Exposure Limit) - TWA: 0.1ppm (0.25mg/m³)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health) 노출 한계에서의 아크롤레인의 REL (Recommended exposure limit) - TWA 0.1ppm (0.25mg/m³), REL-STEL 0.3ppm (0.8mg/m³)

- ▶ NIOSH의 표적 장기 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 눈, 피부, 호흡기, 심장, 2ppm
- ▶ 독성 수치 - 아크롤레인 흡입에 의한 LC₅₀ (Lethal concentration 50 percent kill): mouse 66ppm (Lewis, R.J. Sr., 2004)
- ▶ EPA IRIS (Integrated Risk Information System)의 호흡 노출에 대한 비강병변 증상: RfC=2×10⁻⁵ mg/m³ (Feron *et al.*, 1978)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	POD	Composite UF
호흡기계	2×10 ⁻⁵	비강병변	LOAEL (HEC): 0.02mg/m ³	1000

RfC (Reference Concentration), POD (Point of Departure), LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level), UF (Uncertainty Factor)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 「대기오염물질배출량」 환경부, 2020
- Grant, 1986
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- Lewis, R.J. Sr., 2004
- Feron *et al.*, 1978

31. 카드뮴 및 그 화합물 (Cadmium Compounds)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Cd	분자량	112.41
끓는점	765°C	녹는점	321°C
증기압	7.5×10^{-3} mmHg at 257°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성독성-흡입	2 (위험)	H330	흡입하면 치명적임
생식세포 변이원성	2 (경고)	H341	유전적인 결함을 일으킬 것으로 의심됨
발암성	1 (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음
생식독성	2 (경고)	H361	태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 것으로 의심됨
특정 표적장기 독성-반복 노출	1 (위험)	H372	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 줌 (신장, 폐, 뼈)
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	0.02~0.2mg/m ³
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2021-06-22	유독물질: 국립환경과학원 고시 제2021-36호	-
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-238호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

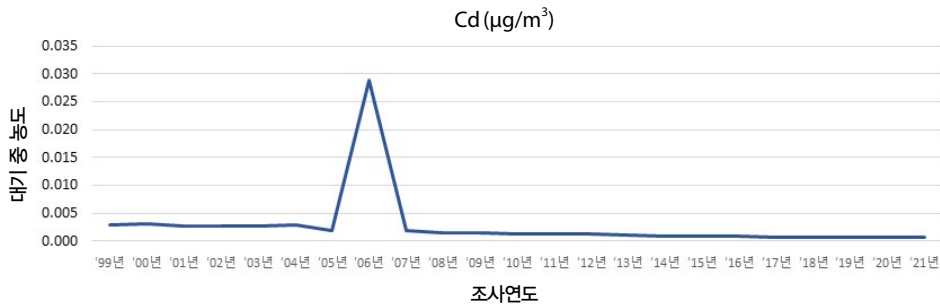
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 카드뮴은 지각에 널리 분포하며, 먼지 입자의 유입, 화산 폭발, 산불 또는 기타 자연 현상으로부터 공기 중으로 방출됨
- ▶ 카드뮴은 평균 5~110ng/L 범위의 해수에 존재하며, 해수염 에어로졸 생성과 같은 자연적 과정을 통해 대기로 운반될 수 있음
- ▶ 아연 제련 시 부산물로 카드뮴이 생성되며 카드뮴은 자연 중에서 1:100 또는 1:1000의 비율로 아연과 함께 존재함

- ▶ Ni-Cd 축전지를 포함한 배터리, 강 및 주철 코팅 및 전기 도금 시 사용되며, 페인트, 플라스틱, 금속 합금 등에도 사용되어 짐
- ▶ 카드뮴 화합물은 염색과 인쇄 직물, TV 형광체, 색소와 에나멜, 그리고 반도체와 태양전지를 포함한 수많은 응용 분야를 가지고 있음
- ▶ 전기적 제련, 알칼리 배터리와 같은 다른 금속의 합금에 이용됨으로 인해 대기 중으로 배출 되기 쉬움
- ▶ 담배 연기를 통해 아주 작은 양이지만 실내공간으로 배출됨

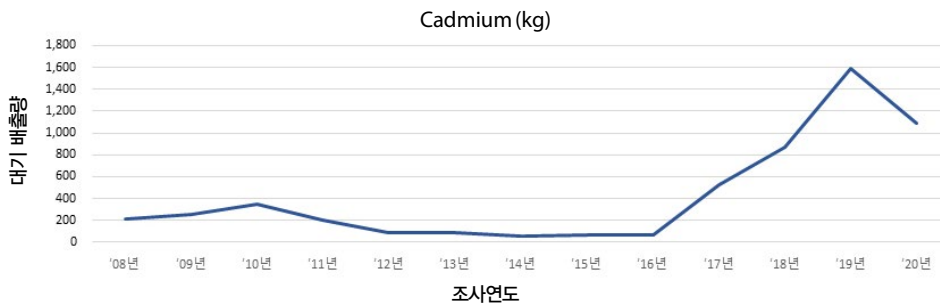
(4) 배출량 정보

- ▶ 1999년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 대기 중 카드뮴의 평균 농도는 0.003 ± 0.006 ($0.001 \sim 0.029$) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 임(한국환경공단, 2021)



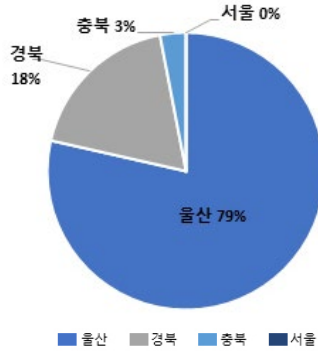
〈연도별 대기 중 카드뮴 농도 변화〉

- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 421kg/년의 카드뮴이 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량」, 환경부)



〈연도별 대기 중 카드뮴 배출량 변화〉

- ▶ 카드뮴의 주요 업종별 기여율은 1차 금속 제조업이 가장 높으며, 2020년 1,091kg/년의 카드뮴이 배출되었음



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 높은 농도의 카드뮴에 일시적으로 노출되거나, 낮은 농도의 카드뮴에 반복적으로 노출되면 폐와 신장에 유해한 영향을 일으킴
- ▶ 일본에서 골연화증, 신장관 장애, 이타이이타이병 등을 유발한 바 있으며, 특히 산화카드뮴은 유력한 발암성 물질로, 전립선암과 신장암을 일으킬 수 있음
- ▶ 내분비계 장애 추정물질로 저농도에 노출되어도 에스트로겐 작용에 의한 현상과 유사한 작용을 유도해 중간 매체와의 반응을 교란시킴
- ▶ 화학물질 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA(Time Weighted Average, 시간가중 평균노출기준) 0.03mg/m³
- ▶ ACGIH(The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 노출 한계에서의 카드뮴 및 그 화합물의 TLV(Threshold Limit Value) 8시간 TWA: Total particulate 0.01mg/m³, Respirable particulate fraction 0.002mg/m³
- ▶ OSHA(the Occupational Safety and Health Administration) 노출 한계에서의 카드뮴 및 그 화합물의 PEL(Permissible Exposure Limit) TWA: 0.005mg/m³
- ▶ NIOSH(National Institute of Occupational Safety & Health)의 표적 기관 및 IDLH(Immediately dangerous to life and health): 호흡기계, 신장, 전립선, 혈액, 9mg/m³
- ▶ IARC(the International Agency for Research on Cancer)에서 Group 1의 발암성 물질로 분류됨(IARC, 1993)
- ▶ 독성 수치 - 카드뮴 30분 흡입에 의한 LC₅₀(Lethal concentration 50 percent kill): rats 25mg/m³(Lewis, R.J. Sr. (ed), 2004)
- ▶ EPA IRIS(Integrated Risk Information System)의 호흡 노출에 대한 폐, 기관, 기관지암 발암성: Unit Risk=1.8×10⁻³ per µg/m³(Thun *et al.*, 1985)

Tumor site	Tumor type	Unit Risk
호흡기계	폐, 기관, 기관지암	1.8×10^{-3} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- 한국환경공단, 2021
- 「대기오염물질배출량」 환경부, 2020
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- IARC, 1993
- Lewis, R.J. Sr. (ed), 2004
- Thun *et al.*, 1985

32. 시안화물 (Hydrogen cyanide)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	CN ⁻	분자량	26.02
끓는점	25.6°C	녹는점	-13.4°C
증기압	742mmHg at 25°C	log Kow	0.35~1.07
대기반감기	0.5년	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	1 (위험)	H224	극인화성 액체 및 증기
급성독성-경구	1 (위험)	H300	삼키면 치명적임
급성독성-경피	1 (위험)	H310	피부와 접촉하면 치명적임
급성독성-흡입	1 (위험)	H330	흡입하면 치명적임
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성 만성	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	4~8ppm
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2021-06-22	유독물질: 국립환경과학원 고시 제2021-36호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

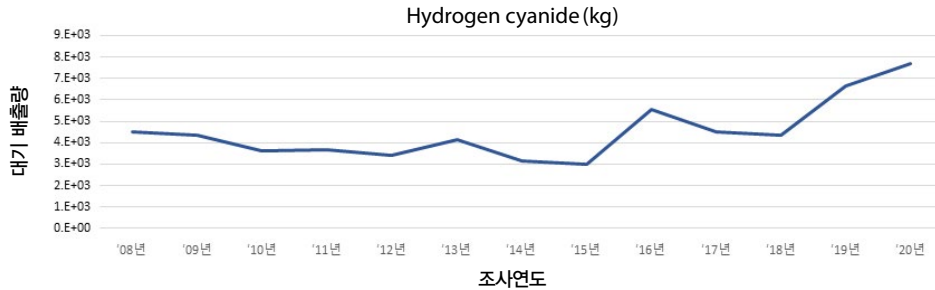
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 시안화물은 유기 합성을 위한 수많은 화학 제품 및 중간체로 사용함
- ▶ 선박 훈증제, 자동차, 건축물, 전기 도금, 광업 및 합성 섬유, 플라스틱, 염료 및 살충제 생산에 사용됨
- ▶ 염소처리에 따른 수산화나트륨과 반응함으로써 시아누산을 제조하는데 쓰임
- ▶ 대부분 아디포니트릴(adiponitrile), 메타크릴산 메틸(methyl methacrylate), 킬레이트 시약, 시아누르산 염화물(cyanuric chloride) 등의 제조에 사용됨
- ▶ 시안화수소는 질소 함유 고분자들인 플라스틱, 폴리우레탄, 양모 등의 불완전연소에 의해 생성되며 담배 연기에 함유되어 있음

- ▶ 자동차 배기가스, 화학 합성 중간체 제조, 담배 연기 등에 의해 대기로 배출됨(Rickert *et al.* 1980)

(4) 배출량 정보

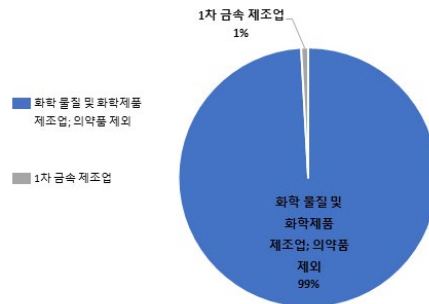
- ▶ 2008년부터 2020년까지 평균 4,505kg/년의 시안화물이 배출되었음
(자료 출처: 「대기오염물질배출량, 환경부」)



〈연도별 대기 중 시안화물 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 시안화물은 폐에서 쉽게 흡수되고 중독 증상은 몇 초에서 몇 분 안에 나타나며 독성 및 중독의 증상에는 질식, 권태감 또는 허약, 탈진, 메스꺼움 호흡 속도 및 깊이 증가, 갑상선 및 혈액 변화가 나타남
- ▶ 시안화수소는 모든 독성 경로에서 위험한 급성 독으로 급성 흡입은 몇 초 안에 사망에 이를 수 있으며 증기의 흡입으로 인한 치명적인 영향은 공기 중의 증기 농도와 노출 시간에 따라 달라짐
- ▶ 공기 중의 270ppm HCN의 흡입은 즉시 인간에게 치명적일 수 있지만 135ppm은 30분 후에

사망할 수 있음(Patty, 1963; ACGIH, 1986)

- ▶ 시안화수소는 피부나 눈에 타는 듯한 자극을 줄 수 있으며 호흡기 자극을 줄 수 있고 증상으로는 유루(눈물흘림), 입과 목구멍의 타는듯한 느낌이 일반적임(Sittig, 2002)
- ▶ 유도 독성 및 중독의 대상 기관에는 CNS (Central Nervous System, 중추 신경계), 심혈관계, 갑상선 및 혈액이 포함됨
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health)의 표적 기관 및 IDLH (Immediately dangerous to life and health): 중추신경계, 심혈관계, 갑상선, 혈액, 50ppm
- ▶ 독성 수치 - 시안화물 30분 흡입에 의한 LC₅₀ (Lethal concentration 50 percent kill): rats 142ppm (Verschueren, 1983)
- ▶ EPA IRIS (Integrated Risk Information System)의 호흡 노출에 대한 갑상선 확대 및 요오드 화물 흡수 변화: RfC=8×10⁻⁴ mg/m³ (El Ghawabi *et al.*, 1975)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	POD	Composite UF
내분비계	8×10 ⁻⁴	갑상선 확대 및 요오드화물 흡수 변화	LOAEL (ADJ): 2.5mg/m ³	3000

RfC (Reference Concentration), POD (Point of Departure), LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level), UF (Uncertainty Factor)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- Rickert *et al.*, 1980
- 「대기오염물질배출량」 환경부, 2020
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Patty, 1963; ACGIH, 1986
- Sittig, 2002
- Verschueren, 1983
- El Ghawabi *et al.* 1975

33. 납 및 그 화합물 (Lead)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Pb	분자량	207
끓는점	> 600°C at 101.3kPa	녹는점	326°C at 101.3kPa
증기압	133 Pa at 1000°C	log Kow	-
대기반감기	22년	PBT 여부	○

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
생식독성	1A (위험)	H360	태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 수 있음 (생식 능력 또는 태아를 손상시킬 수 있음)

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2022-12-06	대기환경기준: 환경정책기본법	연간 평균치 0.5µg/m ³ 이하
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	0.2~13mg/Sm ³ 이하
2014-12-30	기준화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2021-06-22	유독물질: 국립환경과학원 고시 제2021-36호	-
2021-12-29	제한물질: 환경부 고시 제2021-295호	-
2015-07-01	등록대상기준화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

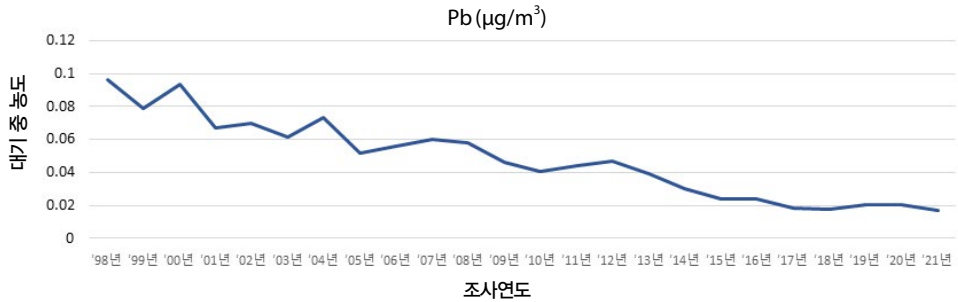
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 납은 건전지, 안료 및 기타 화합물, 압연 및 압출 제품, 합금, 가솔린 첨가제로 사용되고 있음
- ▶ 많은 산업 분야의 근로자는 납을 사용하는 작업장과 생산공정을 통해 직업상 납에 노출될 수 있음
- ▶ 과거 또는 현재 운영되는 납 관련 산업(채광 및 제련)을 통해서도 노출될 수 있음
- ▶ 미국의 어린이는 오래된 건물에 남아 있는 납 함량이 높은 페인트가 함유되어있는 먼지들로 인해 노출되고 있음
- ▶ 주택 개조 및 납 유리 만들기, 스테인리스 글라스 만들기, 납땀 등과 같은 취미 활동은 성인의 노출 경로 중 하나
- ▶ 담배 및 담배 연기의 구성 요소로 흡연자의 경우, 비흡연자보다 혈중 납 수치가 더 높음
- ▶ 간접 흡연은 어린이의 혈중 납 수치 증가에 기여될 수 있음

(4) 배출량 정보

▶ 1999년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 납의 평균 농도는 $0.048\mu\text{g}/\text{m}^3$ (± 0.024 , $0.017\sim 0.096\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 WHO 권고기준 $0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 값으로 나타남

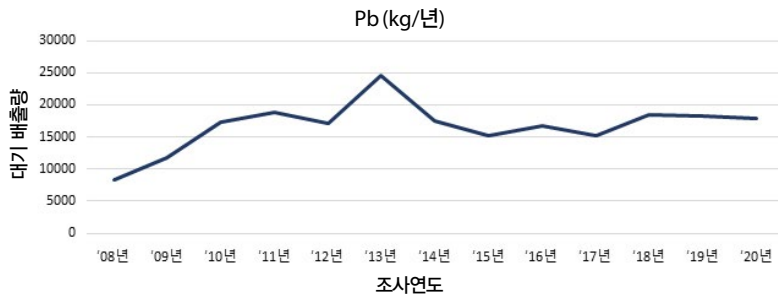
(자료 출처: 2021 대기환경연보, 국립환경과학원)



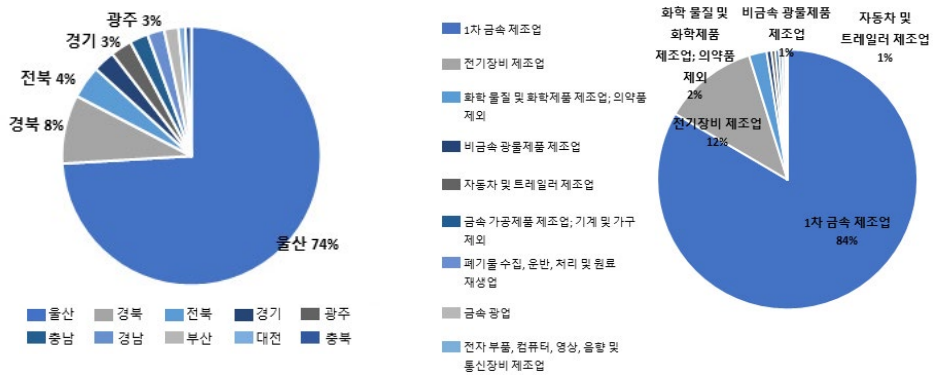
<연도별 대기 중 납 농도 변화>

▶ 2020년 국내에서 배출된 납의 양은 17,968kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



<연도별 대기 중 납 배출량 변화>



<지역별 기여율 (조사연도: 2020년)>

<업종별 기여율 (조사연도: 2020년)>

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 납을 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질(그룹 2B)로 분류
- ▶ 호흡기로 들어온 납은 입자의 크기와 용해도에 따라 흡수 결정되며, 호흡성 분진(직경 5 μ m 이하)의 체내 흡수가 문제의 원인이 됨
- ▶ 흡수된 납은 콩팥과 소화기를 통해 배설되는데 납의 생물학적 반감기는 약 10년으로 체내에서 느리게 배설
- ▶ 혈액, 뼈, 연조직과 같은 다양한 조직으로 분배되는데 혈액 내 납의 반감기는 30~45일 정도이며, 뼈에는 8~30년 사이로 다양함
- ▶ 일반적으로 신장 독성으로 인한 급성 신부전증, 통풍, 고혈압 등을 일으킴
- ▶ 근골격계 독성으로 청색 잇몸(청색선), 근육 약화, 경련, 관절 통증 등을 유발
- ▶ 어린이는 저농도의 납에 노출되더라도 건강피해를 크게 받으며, 특히 중추신경장애로 인한 영구적인 지능 저하, 신경 행동학적 장애 등이 유발될 수 있음
- ▶ 태반을 통과하여 인지능력의 저하, 선천성 기형 발생 등 태아에게 영향을 미치고, 유산 또는 미숙아 출산을 유발할 수 있음
- ▶ 최근 납의 내분비계영향으로 인해 인체 노출 안전 수준은 “0(Zero)”로 제안됨
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 0.05mg/m³
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 0.05mg/m³
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV/TWA (threshold limit value/time weighted average): 8시간 TWA 150 μ g/m³ (lead ardenate)/ 50 μ g/m³ (other forms of lead)
- ▶ EPA (Environmental Protection Agency)의 NAAQS (National Ambient Air Quality Standards): 0.15 μ g/m³ (3개월 평균)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) REL (Recommended Exposure Limit): 최대 10시간 TWA 0.05mg/m³
- ▶ 급성독성 - 흡입: > 5.05mg/L (LC₅₀ (Lethal dose for 50 percent kill), rat, 4 hour)
(자료출처: ECHA, 2004)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- WHO, Environmental Health Criteria 3: Lead. International Programme on Chemical Safety, 1977
- 환경기준, 환경정책기본법 시행령
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- 에어코리아 대기환경 연보, 2021
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- ATSDR, Lead toxicity, 2019
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2021
- NIOSH, Occupational Safety and Health Guideline for Inorganic Lead. 1988.
- ACGIH, Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Lead [7439-92-1] and inorganic compounds, as Pb
- ECHA, 2004

34. 크롬 및 그 화합물 (Chromium)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Cr	분자량	51.996
끓는점	2642°C	녹는점	1907°C
증기압	2.45×10^{-8} Pa at 1000K	log Kow	-
대기반감기	13~16 시간	PBT 여부	-

- Chromium

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
-			

- Chromium (VI)

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
피부 민감성	1 (경고)	H317	알레르기성 피부반응을 일으킬 수 있음
발암성	1B (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음 (호흡)
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성 만성	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

- Chromium

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	0.15~0.4mg/m ³
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

- Chromium (VI)

고시일자	고시정보	기준
2021-12-29	제한물질: 환경부 고시 제2021-295호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

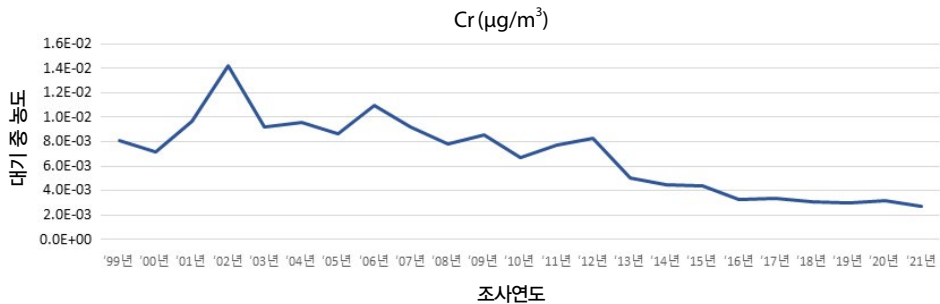
- ▶ 크롬은 열전달제, 부식방지제, 전기도금제, 탄닌제, 착색제 및 정착제, 실험실용 물질로 사용되고 있음
- ▶ 주로 연소 과정과 금속 산업에서 대기 중으로 배출되며, 오염된 토양, 공기, 물, 흡연 및 식단을 통해서도 노출되고 있음

- ▶ 혈압, 점토, 그리고 많은 다른 종류의 토양 풍식 작용으로부터 기인
- ▶ Cr(III)는 자연 발생으로 존재하며, Cr(VI)은 거의 인간의 활동에서 파생되어짐
- ▶ 공기 중의 Cr(III)은 어떠한 반응도 일으키지 않지만, 공기 중의 Cr(VI)은 먼지 입자 또는 기타 오염 물질과 반응하여 Cr(III)을 형성
- ▶ Cr(III) 및 Cr(VI)는 주로 인간 활동으로 인해 정지된 점오염원(이름과 위치로 개별적으로 식별되는 시설)에서 환경으로 방출
- ▶ Toxics Release Inventory에 따르면 1997년에 3,391개의 대형 처리 시설에서 공기 중으로 배출된 크롬은 전체 환경 배출의 약 2.2%를 차지

(4) 배출량 정보

- ▶ 석탄과 석유 연소는 연간 약 1,723ton의 크롬 대기 배출에 기여(0.2% Cr(VI))
- ▶ 크롬 도금은 연간 700ton의 크롬을 대기 오염에 기여(100% Cr(VI))
- ▶ 1976년과 1980년 캘리포니아주 로스앤젤레스와 텍사스주 휴스턴의 대기 중 크롬 배출량 추정치는 고정식 연료 연소로 인한 배출량이 전체 배출량의 약 46~47%을 차지하였으며, 금속 산업에서 발생하는 배출량이 26~45%으로 나타남
- ▶ 1999년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 크롬의 평균 농도는 $0.007\mu\text{g}/\text{m}^3$ (± 0.003 , $0.003\sim 0.014\mu\text{g}/\text{m}^3$)

(자료 출처: 2021 대기환경연보, 국립환경과학원)



〈연도별 대기 중 크롬 농도 변화〉

- ▶ 2020년 국내에서 배출된 크롬의 양은 21,791kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)

- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간 가중평균노출기준) 0.5mg/m³(크롬, 금속)/ TWA 0.01mg/m³(크롬6가화합물, 불용성무기화합물)/ TWA 0.05mg/m³(크롬6가화합물, 수용성)/ TWA 0.5mg/m³(크롬3가화합물)
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 0.5mg/m³(Cr(III))/ 8시간 TWA 5µg/m³(Action Level 2.5µg/m³)(Cr(VI))
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV/TWA (threshold limit value/time weighted average): 8시간 TWA 0.003mg/m³((inhalable particulate matter) (Cr(III))/ 0.0002mg/m³((inhalable particulate matter), STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 0.0005mg/m³((inhalable particulate matter) (Cr(VI))
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) REL (Recommended Exposure Limit): 최대 10시간 TWA 0.5mg/m³, IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health)(Cr(III))/ 8시간 TWA 0.0002mg/m³(Cr(VI))
- ▶ RfC for Inhalation Exposure (1): 8×10^{-6} per mg/m³(Chromic acid mists and dissolved Cr(VI) aerosols)
- ▶ RfC for Inhalation Exposure (2): 1×10^{-4} per mg/m³(Cr(VI) particulates)
- ▶ Inhalation Unit Risk: 1.2×10^{-2} per µg/m³, Respiratory, Lung cancer (Mancuso, 1975)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	PoD
Respiratory	8×10^{-6} (Chromic acid mists and dissolved Cr(VI) aerosols)	Nasal septum atrophy	LOAEL (ADJ): 7.14×10^{-4} mg/m ³
Respiratory	1×10^{-4} (Cr(VI) particulates)	Lactate dehydrogenase in bronchioalveolar lavage fluid	BMCL10 (HEC): 3.4×10^{-2} mg/m ³

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- Grohse, PM *et al.*, Fate of hexavalent chromium in the atmosphere, 1988
- ECHA, 2022
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry Case Studies in Environmental Medicine (CSEM) Chromium Toxicity, 2011
- 에어코리아 대기환경 연보, 2021
- 화학물질 배출 · 이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2020
- NIOSH, Occupational Safety and Health Guideline for Inorganic Arsenic and its Compounds (as As) Potential Human Carcinogen, 1988.

- ACGIH: Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs)
 - Arsenic [7440-38-2] and inorganic compounds, as As. See annual publication for most recent information.
- IRIS Assessments

35. 비소 및 그 화합물 (Arsenic)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	As	분자량	74.92
끓는점	616°C	녹는점	817°C at 28 atm
증기압	7.5×10^{-3} mmHg at 280°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성독성-경구	3 (위험)	H301	삼키면 유독함
급성독성-흡입	3 (위험)	H331	흡입하면 유독함
심한 눈 손상/눈 자극성	1 (위험)	H318	눈에 심한 손상을 일으킴
발암성	1A (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음
특성 표적장기 독성-반복 노출	1 (위험)	H372	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킴 (호흡기, 심혈관, 혈액, 신경, GI 시스템)
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성 만성	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	0.2~0.5ppm
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

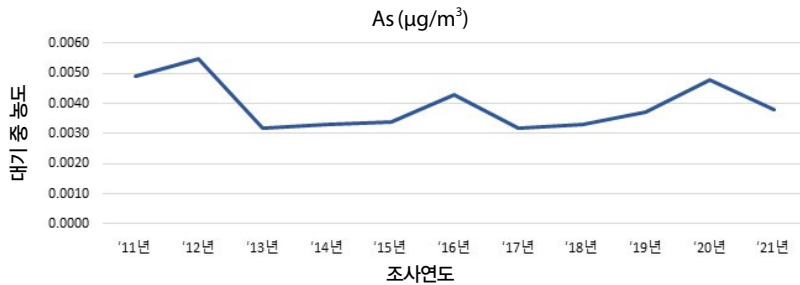
- ▶ 비소는 합금 구성 요소, 목재 방부제, 제초제 및 농약, 의약품으로 사용되고 있음
- ▶ 지각의 천연 성분으로 공기, 물 및 육지 환경 전반에 널리 분포하고 있음
- ▶ 환경에서의 비소의 분산은 대부분 광업과 상업적 용도에서 비롯됨
- ▶ 자연 오염원으로는 화산활동으로 인한 식생과 바람에 의한 먼지 등의 배출물을 들 수 있음
- ▶ 인위적 오염원으로는 금속물질 제련소, 연료연소(특히 저급화석연료), 농작물 살충제 등이 있음

- ▶ 담배 식물이 토양에 존재하는 비소를 흡수할 수 있어 흡연자들에게도 담배의 천연 무기 비소 함량에 노출될 수 있음

(4) 배출량 정보

- ▶ 미국에서 인간 활동에 의해 방출되는 비소의 양은 천연자원에서 방출되는 양을 적어도 세 배 이상 초과
- ▶ 자연적 발생원으로 인한 대기 중 농도는 농촌지역에서 1~10ng/m³, 도시지역에서 수백ng/m³ 그리고 금속 제련소 등의 공장에서는 1,000ng/m³ 이상으로 조사된 바 있음
- ▶ 1943~1965년 동안 미국의 연간평균농도는 2.6~11ng/m³이며, 미국에서 연간 총 비소농도는 0.0~0.1μg/m³(농촌 지역)으로 조사된 바 있음
- ▶ 1943~1965년 동안 측정된 미국 구리 제련소에서 공기 중 비소의 8시간 평균은 6.9~20mg/m³이었음
- ▶ 2011년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 비소의 평균 농도는 0.004μg/m³(±0.001, 0.003~0.006μg/m³)

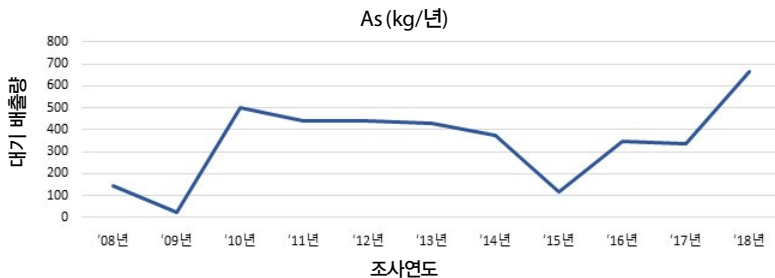
(자료 출처: 2021 대기환경연보, 국립환경과학원)



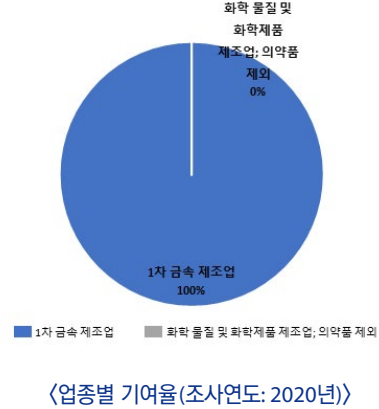
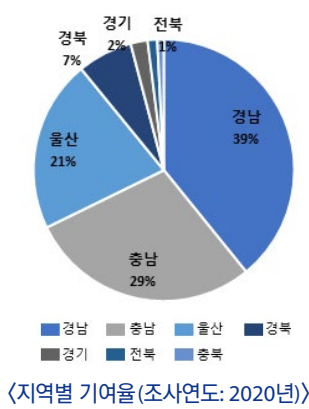
〈연도별 대기 중 비소 농도 변화〉

- ▶ 2020년 국내에서 배출된 비소의 양은 683kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 비소 배출량 변화〉



(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 무기비소를 1급 발암물질(그룹 1)로 분류
- ▶ 광범위하게 분산된 효소 반응을 표적으로 하여 거의 모든 장기 시스템에 영향
- ▶ 신경계, 호흡기계, 혈액계, 심혈관계, 위장계 및 기타 시스템에 심각한 영향
- ▶ 위장관계 기관 및 호흡기를 통하여 흡수
- ▶ 화학물질의 형태 분진 크기, 용해도에 따라 폐의 흡수에 영향을 줌
- ▶ 흡입한 양의 30%가 전체적으로 흡수되고, 약 40%가 폐에 흡착
- ▶ 가용성 무기비소는 위장기관에 거의 흡수되며 용해도가 낮은 형태는 흡수율이 낮음
- ▶ 심한 만성 노출의 일반적 영향: 반점형 피부 과색소침착, 작은 국소 각화증 및 기타 피부 병변
- ▶ 폐암과 피부암을 유발할 수 있으며 다른 암도 유발할 수 있음
- ▶ 만성 비소 노출과 암 사이의 연관성은 피부암, 폐암 및 방광암에서 가장 강력하며, 간(혈관 육종), 신장 및 기타 암은 연관 강도가 제한적
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 0.01mg/m³
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 10µg/m³ (Action Level 5µg/m³) (Arsenic, Inorganic compounds)/ 8시간 TWA 0.5mg/m³ (Arsenic, Organic compounds)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV/TWA (threshold limit value/time weighted average): 8시간 TWA 0.01mg/m³ (Arsenic, Inorganic compounds)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) REL (Recommended Exposure

Limit): 15분 C (ceiling) $0.002\text{mg}/\text{m}^3$, IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시 건강위험농도) $5\text{mg}/\text{m}^3$ (Arsenic, Inorganic compounds)

- ▶ Inhalation Unit Risk: 4.3×10^{-3} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Respiratory, Lung cancer (Brown and Chu, 1983a,b,c; Lee-Feldstein, 1983; Higgins, 1982; Enterline and Marsh, 1982)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- ECHA, 2022
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- ATSDR, Arsenic toxicity cover page, 2013
- 에어코리아 대기환경 연보, 2021
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2021
- NIOSH, Pocket Guide to Chemical Hazards - Chromium (III) compounds (as Cr)
- ACGIH: Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Chromium, and inorganic compounds: Trivalent chromium compounds, as Cr (III)
- IRIS Assessments

36. 수은 및 그 화합물 (Mercury)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Hg	분자량	200.59
끓는점	356.73°C	녹는점	-38.67°C
증기압	2×10^{-3} mmHg at 25°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	○

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성독성-흡입	2 (위험)	H330	흡입하면 치명적임
생식독성	1 (위험)	H360	태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 수 있음 (태아를 손상시킬 수 있음)
특성 표적장기 독성-반복 노출	1 (위험)	H372	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킴 (원인 불명의 장기 감염)
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성 만성	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

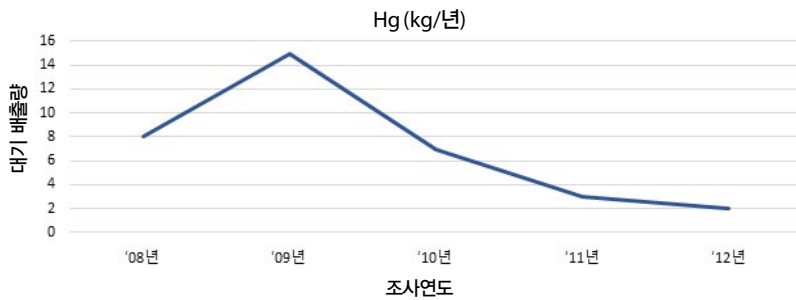
고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	0.04~15mg/Sm ³ 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 수은은 기압계, 온도계, 스위치, 형광 램프, 광석에서 금과 은을 추출하는데 사용
- ▶ 비의도적 배출원에는 석탄, 아연광석이나 석회석 등에 불순물로 함유된 수은이 연소나 제련 공정에서 배출되는 경우를 말함
- ▶ 미국에서는 석탄을 태워 전기를 생산하는 발전소가 가장 큰 배출원
- ▶ 의도적 배출원은 수은을 인위적으로 첨가하여 사용한 경우, 폐기된 제품 등으로부터 발생되는 수은을 뜻함
- ▶ 전 세계적으로 영세 및 소규모 금 채굴(37.7%)이 인위적 수은 배출의 가장 큰 원인이며, 석탄의 고정 연소(21%)가 그 뒤를 잇고 있음

(4) 배출량 정보

- ▶ 인위적 배출원의 연간 전 세계 수은 배출량 추정치는 연간 약 2220톤으로 재방출되는 수은도 포함되어있음
- ▶ 석탄화력발전시설 석탄 1톤 연소할 때 나오는 수은 배출량을 연구한 결과, 2020년 2.86mg/ton으로 2007년 대비 약 84% 감소하였음
- ▶ 유엔환경계획(UNEP) 조사 결과, 우리나라의 수은 총 배출량은 2005년(32.2톤) 대비 2015년(9.2톤)에 약 71%(23톤)감소한 것으로 나타남
- ▶ (자료출처: 환경부 보도자료)
- ▶ 2012년 국내에서 배출된 수은의 양은 2kg 정도로 보고되었음
(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 수은 배출량 변화〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 메틸수은 화합물을 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질(그룹 2B)로 분류
- ▶ 모든 형태의 수은은 신경계와 신장에 영향을 줄 수 있음
- ▶ 금속 수은의 지질 친화성으로 다른 장기에 비해 신장에서 높은 농도를 보임
- ▶ 금속 수은은 흡입 노출 후 24시간 이내에 최고 수준에 도달하며 뇌에서는 2~3일 내에 최고 수준에 도달
- ▶ 흡입으로 노출된 금속 수은은 뇌에 가장 오래 잔류
- ▶ 흡수된 경우 혈액 내에서 산화되어 2가 수은이 되어 혈액-뇌장벽이나, 태반을 통과하지 못하고 대부분 신장조직 내 축적
- ▶ 산화 손상, 신경세포 미세튜브의 형성 방해, 뇌-혈관 장벽의 투과성 증대, 단백질 합성의 방해, 유전자 복제의 방해, 유전자 복제 효소의 활성도 감소, 신경 간극의 전달 저해, 막의 손상, 면역반응의 손상, 칼슘 항상성 유지의 방해 등의 손상 발생

- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 0.1mg/m³ (아릴화합물)/TWA 0.025mg/m³ (수은 및 무기형태)/ TWA 0.01mg/m³ (알킬화합물)/ STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 0.03mg/m³ (알킬화합물)
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): C (Ceiling) 0.1mg/m³ (Mercury, Aryl & Inorganic compounds)/ 8시간 TWA 0.01mg/m³, C (ceiling) 0.04mg/m³ (Mercury, (ORGANO) Alkyl compounds)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV/TWA (threshold limit value/time weighted average): 8시간 TWA 0.1mg/m³ (aryl compounds), 0.025mg/m³ (elemental and inorganic forms)/ 0.01mg/m³, STEL 0.03mg/m³ (Mercury, (ORGANO) Alkyl compounds)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) REL (Recommended Exposure Limit): 최대 10시간 TWA 0.05mg/m³ (Hg vapor), 15분 C (ceiling) 0.1mg/m³, IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 10mg/m³ (Mercury, Aryl & Inorganic compounds)/ 최대 10시간 TWA 0.01mg/m³, STEL 0.03mg/m³, IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) 2mg/m³ (Mercury, (ORGANO) Alkyl compounds)
- ▶ RfC for Inhalation Exposure: 3×10^{-4} mg/kg-day

System	RfC (mg/m ³)	Basis	PoD	Composite UF
Nervous	3×10^{-4}	Hand tremor; increases in memory disturbances; slight subjective and objective evidence of autonomic dysfunction	LOAEL (ADJ): 9×10^{-3} mg/m ³	30

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- ECHA, 2022
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, Mercury, 2022
- ATSDR, Mercury-ToxFAQs, 2022
- 화학물질 배출 · 이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2021
- NIOSH, Pocket Guide to Chemical Hazards - Mercury compounds [except (organo) alkyls] (as Hg)
- NIOSH: Pocket Guide to Chemical Hazards - Mercury (organo) alkyl compounds (as Hg)
- ACGIH: Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Mercury [7439-97-6], all forms except alkyl, as Hg. See annual publication for most recent information.

- ACGIH: Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Mercury [7439-97-6], alkyl compounds, as Hg. See annual publication for most recent information.
- IRIS Assessments

37. 구리 및 그 화합물 (Copper)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Cu	분자량	63.55
끓는점	2595°C	녹는점	1083°C
증기압	1mmHg at 1628°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
수생환경 유해성 만성	2	H411	장기적 영향에 의해 수생생물에 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	5mg/Sm ³ 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

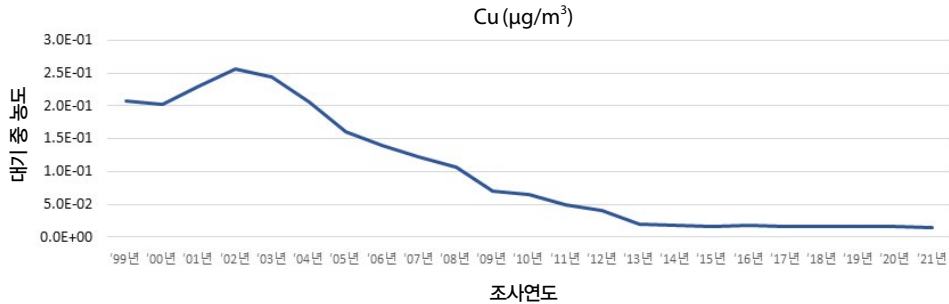
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 구리는 전기 배선, 배관, 살충제, 조리기구 및 식이 보조제와 같은 재료 및 제품에서 찾을 수 있으며, 다른 금속과 결합하여 황동 및 청동 파이프를 제작
- ▶ 인간에게 필수적인 영양소
- ▶ 바람에 날리는 먼지, 썩어가는 초목과 같은 천연자원과 도시 고형 폐기물 관리 및 화석 연료 연소와 같은 인간 활동에서 방출
- ▶ 자연적으로 65%가 풍화작용에 의한 것이 대부분
- ▶ 인위적으로는 구리 광산이나 제련 과정 혹은 담배와 석탄을 원료로 하는 공장에서 분진 및 산화물의 형태로 배출
- ▶ 광업, 농업, 구리를 처리하는 시설, 구리를 사용하는 현장 근처에서 일하거나 거주하는 경우 구리 연기에 노출될 수 있음
- ▶ 미국에서 구리의 주 대기오염원은 비철 금속생산
- ▶ 구리배출원에 따른 분포를 보면 철 생산시 7.4%, 석유와 기름 연소시 4.6%, 아연 제련시 3.3%, 황산구리 생산시 2.7%, 자체적인 소각시 1.9%를 차지

(4) 배출량 정보

- ▶ 2000년 약 6,400,000,000 그램의 구리가 산업에 의해 환경으로 배출
- ▶ 구리를 금속으로 가공하는 제련소 근처의 농도는 5,000ng/m³에 이를 수 있음
- ▶ 1999년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 구리의 평균 농도는 0.098μg/m³(±0.088, 0.014~0.257μg/m³)

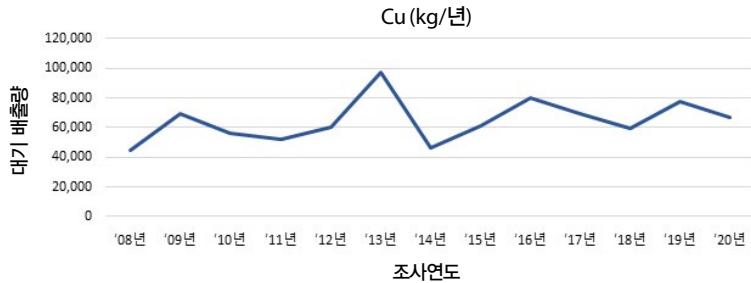
(자료 출처: 2021 대기환경연보, 국립환경과학원)



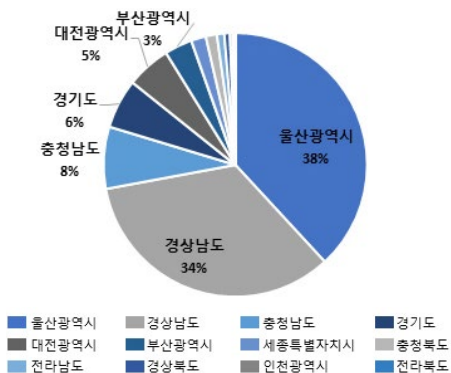
〈연도별 대기 중 구리 농도 변화〉

- ▶ 2020년 국내에서 배출된 구리의 양은 66,638kg 정도로 보고되었음

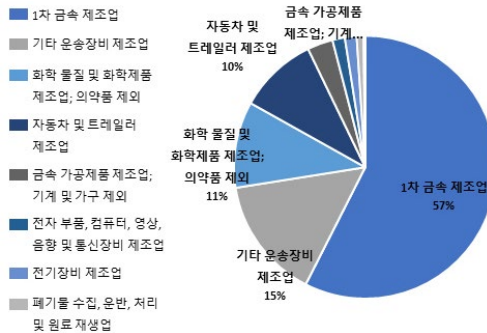
(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 구리 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 구리는 발암성 물질로 분류하지 않았음
- ▶ 대기 중 구리 분진은 호흡에 의해 흡착되어 인체독성을 야기할 수 있음
- ▶ 극미세분진농도가 0.075~0.12mg/m³일 때 금속성증기 열증상이 나타나고 천명이나 청진기를 가슴에 대었을 때 수포음이 들리는 등의 호흡계통의 이상이 나타남
- ▶ 구리에 노출됨으로써 위장과 간에 영향을 미치는 것으로 의심됨
- ▶ 체내에 흡수된 구리는 단백질과 결합을 하여 알부민에 약 7%, 셀룰로플라즈민에 약 93%가 분포하고 적혈구에도 분포
- ▶ 대부분의 구리는 간, 골수에 축적되며 이곳에서 금속유황과 결합
- ▶ 인체내로 흡수된 양의 약 4%가 노를 통해 배설되고, 담즙과 대변을 통해 약 80%가 배출
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 1mg/m³ (분진 및 미스트), 0.1mg/m³ (흄), STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 2mg/m³ (분진 및 미스트)
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 1mg/m³ (dust and mists)/ 0.1mg/m³ (fume)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV/TWA (threshold limit value/time weighted average): 8시간 TWA 1mg/m³ (dust and mists)/ 0.2mg/m³ (Copper fume)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) REL (Recommended Exposure Limit): 최대 10시간 TWA 1mg/m³, IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 100mg/m³ (dust and mists)/ 최대 10시간 0.1mg/m³, IDLH 100mg/m³ (Copper fume)
- ▶ 급성독성 - 흡입: 0.53mg/m³ (Less serious LOAEL (Lowest-observed-adverse-effect levels), human, 5M, 3 weeks, 3 periods, 6 hours/period, Immuno) (Markert *et al.*, 2016)
- ▶ 급성독성 - 흡입: 45mg/m³ (LC₅₀, rat female, 4 hour), 109mg/m³ (LC₅₀, rat male, 4 hour) (Rush, 1991)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- Budavari, S. (ed.). The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. Whitehouse Station, NJ: Merck and Co., Inc., 1996., p. 426
- Budavari, S. (ed.). The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. Whitehouse Station, NJ: Merck and Co., Inc., 1996., p. 426
- Sax, N.I. Dangerous Properties of Industrial Materials. Vol 1-3 7th ed. New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1989., p. 950
- ECHA, 2022
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- ATSDR, Toxicological Profile for Copper, 2022
- 에어코리아 대기환경 연보, 2021
- 화학물질 배출 · 이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2021
- NIOSH: Pocket Guide to Chemical Hazards - Copper fume (as Cu)
- ACGIH: Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Copper; Fume, as Cu. See annual publication for most recent information.
- Markert *et al.*, 2016
- Rush, 1991

38. 염소 및 그 화합물 (Chlorine)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Cl ₂	분자량	70.90
끓는점	-34.04°C	녹는점	-101.5°C
증기압	5.83 × 10 ⁻³ mmHg at 25°C	log Kow	0.85
대기반감기	1~4시간	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
산화성 가스	1 (위험)	H270	화재를 일으키거나 강렬하게 함; 산화제
고압가스	2 (경고)	H280	고압가스 포함; 가열하면 폭발할 수 있음
급성독성-흡입	2 (위험)	H330	흡입하면 치명적임
피부 부식성/자극성	1 (위험)	H314	피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴
특정 표적장기 독성-1회 노출	3 (경고)	H335	호흡기 자극을 일으킬 수 있음 (호흡기) (호흡)
특정 표적장기 독성-반복 노출	2 (경고)	H373	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킬 수 있음
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

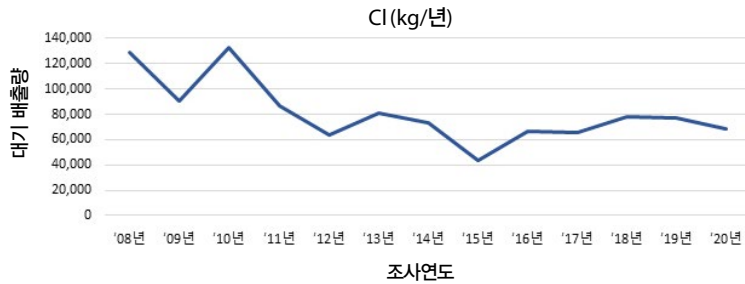
고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	-
2014-12-30	기준화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기준화학물질: 고시일로부터 3년	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

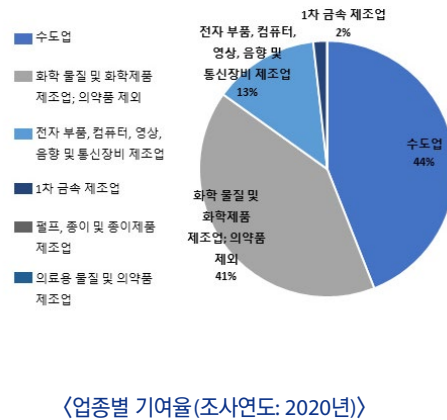
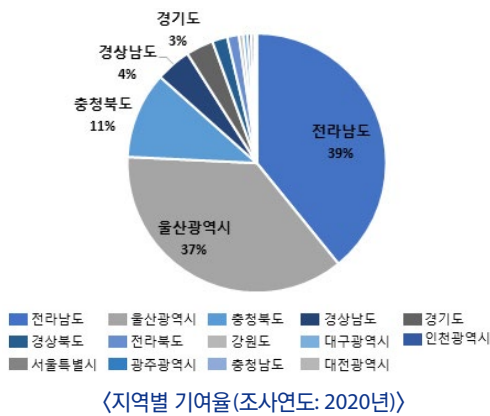
- ▶ 염소는 합성수지 등 고분자 물질생성에 사용되며, 용매, 세제 및 세정과 세척제, 산화제, 살균제, 표백제, 열 전달제 등으로 사용되고 있음
- ▶ 중요한 최종 산물에는 냉매, 에어로졸, 실리콘, 실리콘 고무, 플라스틱, 용제, 폴리에테르, 바니쉬, 폼, 폴리우레탄, 세제, 염료 등이 있음
- ▶ 제1차 세계대전 동안 질식제로 사용되었음
- ▶ 식염을 전기 분해하여 염산 및 수산화나트륨을 제조하는 공장, 염화에틸렌 제조공장, 염화 제2철 제조공장, 활성탄 제조공장에서 발생

(4) 배출량 정보

- ▶ 미국의 염소 생산량은 2004년 12,300,000톤으로 급증한 것을 제외하고, 생산량은 지난 10년 동안 꾸준히 감소했음(The Chlorine Institute, 2008)
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 염소의 양은 128,916kg 정도로 보고되었음
(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 염소 배출량 변화〉



(5) 주요 인체 영향

- ▶ 흡입된 염소 가스는 상부 호흡기의 습윤 접막과 접촉하면 차아염소산과 염산을 형성 (Vetrano 2001; Winder 2001)
- ▶ 차아염소산과 염산이 체내에 흡수되면 단백질과 뉴클레오타이드와 반응하여 다양한 염소 화 유기 화합물을 생성할 것으로 예상(EPA 1999; Winder 2001)
- ▶ 천식이나 기타 만성 폐 질환이 있는 일부 사람들은 다른 사람들보다 호흡에 더 민감할 수 있음
- ▶ 시야 흐림, 코·목·폐·눈의 작열감, 기침, 흉부 압박, 호흡곤란 또는 숨가쁨 등의 증상이 고농도의 염소에 노출되는 동안 또는 노출 직후에 나타날 수 있음
- ▶ 급성 노출 후 폐 기능은 일반적으로 7~14일 이내 정상으로 돌아옴

- ▶ 작업장에서 염소에 만성적으로 노출 시 치아가 부식될 수 있음
- ▶ 여러 번 노출될 경우, 독감과 유사한 증상이 나타나며 화학적 자극 유발 천식 유형인 반응성 기도 기능 장애 증후군 발병 위험이 높아질 수 있음
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간 가중평균노출기준) 0.5ppm, STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 1ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 1ppm (3mg/m³) (Construction and Maritime Industries only)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV/TWA (threshold limit value/time weighted average): 8시간 TWA 0.1ppm, STEL 0.4ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) REL (Recommended Exposure Limit): 15분 C (ceiling) 0.5ppm (1.45mg/m³)
- ▶ DNEL (Derived-No-Effect-Levels, 무영향도출수준) - 흡입: 750µg/m³ (인체, 일반인, 전신 영향, 장기간 노출) (ECHA)
- ▶ 급성독성 - 흡입(1): 3064mg/m³ (LC₅₀ (Lethal dose for 50 percent kill), male/female, 10 min) (자료출처: ECHA, 1987)
- ▶ 급성독성 - 흡입(2): 1462mg/m³ (LC₅₀ (Lethal dose for 50 percent kill), male/female, 30 min) (자료출처: ECHA, 1987)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- US EPA; Estimation Program Interface (EPI) Suite. Ver. 4.1. Nov, 2012. Available from, as of July 11, 2016
- Hazardous Substances Data Bank (HSDB)
- ATSDR, Toxicological Profile for Chlorine, 2015
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2022
- ACGIH: Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Chlorine. See annual publication for most recent information.
- NIOSH: Pocket Guide to Chemical Hazards - Chlorine
- ECHA, 1987

39. 불소화물 (Fluoride)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

-Fluorine

분자식	F ₂	분자량	38
끓는점	-188.13°C	녹는점	-219.67°C
증기압	101,325hPa at -188°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
산화성 가스	1 (위험)	H270	화재를 일으키거나 강렬하게 함; 산화제
고압가스	1 (압축가스)	H280	고압가스 포함; 가열하면 폭발할 수 있음
급성독성-흡입	1 (위험)	H330	흡입하면 치명적임
피부 부식성/자극성	1 (위험)	H314	피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴

-Hydrogen fluoride

분자식	HF	분자량	20.0064
끓는점	19.51°C	녹는점	-83.57°C
증기압	917mmHg at 25°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
금속부식성 물질	1 (경고)	H290	금속을 부식시킬 수 있음
급성독성-경피	1 (위험)	H310	피부와 접촉하면 치명적임
급성독성-흡입	2 (위험)	H330	흡입하면 치명적임
피부 부식성/자극성	1A (위험)	H314	피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴

(2) 규제정보

-Fluorine

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	2~13ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

- Hydrogen fluoride

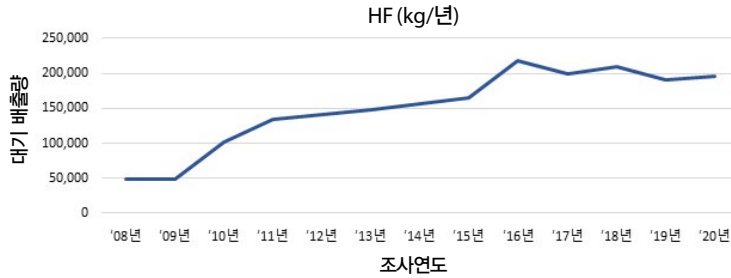
고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	2~13ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

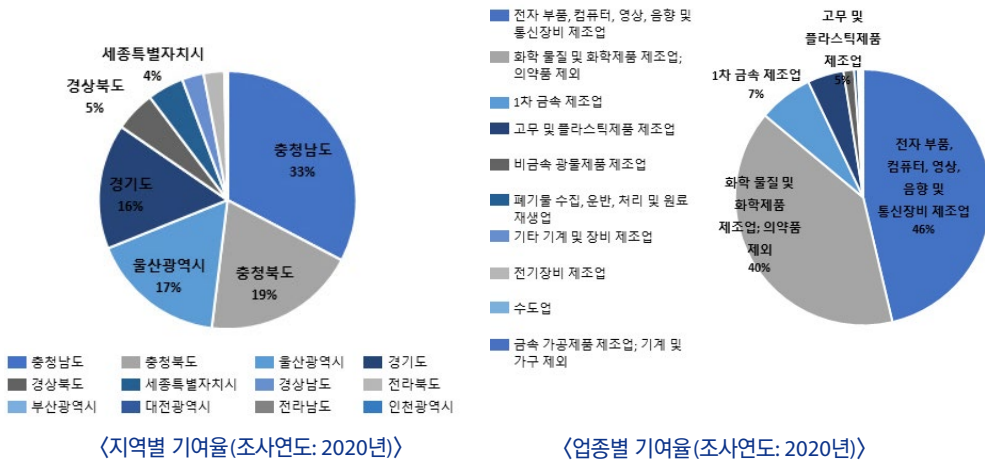
- ▶ 불소화물은 자연적으로 발생하는 암석과 토양의 성분이며 공기, 물, 식물, 동물에서도 발견되며, 불소는 담배 연기의 구성 요소 중 하나
- ▶ 화산방출과 바람에 의한 토양의 재부유를 통해 대기로 유입
- ▶ 석탄은 소량의 불소를 함유하고 있으며, 석탄화력발전소는 인위적인 불화수소 배출의 가장 큰 원천을 구성하고 있음
- ▶ 불소는 접착제 및 코팅용 폴리머 합성 생산에 사용되며, 약 70~80%는 원자로 및 핵무기에 사용하기 위한 육불화우라늄 제조에 사용
- ▶ 산업용 플루오르화물 배출의 주요 공급원은 알루미늄 생산 공장과 인산염 비료 공장
- ▶ 폐기물 흐름에 불소가 함유된 물질이 존재하기 때문에 도시 소각장에서 불화수소가 방출
- ▶ 개인은 작업장에서 흡입이나 피부 접촉에 의해 노출될 가능성이 가장 높음
- ▶ 산업 공정과 석탄 연소에서 나오는 배출물 그리고 화산 활동과 플루오린을 함유한 암석과 토양의 풍화로 인한 먼지를 포함한 자연 발생원에서 나오는 불화수소와 다른 플루오린화물에 노출될 수 있음
- ▶ 석탄 화력 발전소나 불소 관련 산업(알루미늄 제련소, 인 비료 공장) 근처 또는 유해 폐기물 처리장 근처에서 불소 농도가 높은 수준으로 검출되기도 함
- ▶ 불소 함유 물질이 사용되는 산업, 실리콘칩 및 알루미늄 세척하는데 사용될 수 있는 전자 산업에서 일하는 경우 더 높은 수준의 불소에 노출될 수 있음

(4) 배출량 정보

- ▶ 도시 주변 지역에서 측정된 불소 수치는 일반적으로 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만으로 농촌 지역보다 낮은 수준
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 불화수소의 양은 196,237kg 정도로 보고되었음
(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 불화수소 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 흡입 노출에 따른 불소 및 그 화합물의 독성 영향에 관한 이용 가능한 정보의 대부분은 불화수소 또는 불산에 대한 노출 연구에서 얻을 수 있음
- ▶ 불화수소 가스에 대한 급성 흡입 노출은 심각한 자극과 폐부종을 포함하여 인간에게 심각한 호흡 손상을 일으킬 수 있음
- ▶ 눈, 코, 상하호흡기의 자극, 눈의 찢김, 인후통, 기침, 가슴 조임, 씨근거림 등이 보고되었음
- ▶ 급성 노출된 동물에서 폐, 간, 신장의 손상이 관찰되었음
- ▶ 인간이 낮은 수준의 불화수소에 만성적으로 노출되면 코, 목, 폐에 자극과 충혈 발생
- ▶ 뼈 질환인 골격불소증은 근로자들 사이에서 흡입을 통해 불소(불소화수소 포함)에 만성적으로 노출된 것으로 보고
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 0.1ppm(불소)/ TWA 0.5ppm, 최고노출기준 3ppm(불화수소)
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 0.1ppm (0.2mg/m³) (불소)/ 8시간 TWA 3ppm (2mg/m³) (불화수소)

- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 0.1ppm, C (ceiling) 0.5ppm (불소)/ 8시간 TWA 0.5ppm, ceiling limit 2ppm (불화수소)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 최대 10시간 TWA 0.1ppm ($0.2\text{mg}/\text{m}^3$), IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 25ppm (불소)/ 최대 10시간 TWA 3ppm ($2\text{mg}/\text{m}^3$), 15분 C (ceiling) 6ppm ($5\text{mg}/\text{m}^3$), IDLH 30ppm (불화수소)
- ▶ DNEL (Derived-No-Effect-Levels, 무영향도출수준) - 흡입: $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ (인체, 일반인, 전신 영향, 장기간 노출) (ECHA)
- ▶ LC₅₀ (Lethal dose for 50 percent kill), 기니피그, 15분) - 흡입: 3540mg/cum (WHO, 1984)
- ▶ LC₅₀(기니피그, 15분) - 흡입: 4327ppm (IPCS, 1990)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, Hydrogen Fluoride (Hydrofluoric Acid), 2016
- ATSDR, Toxicological Profile for Fluorides, Hydrogen Fluoride, and Fluorine, 2014
- 화학물질 배출 · 이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2021
- NIOSH: Pocket Guide to Chemical Hazards – Fluorine
- NIOSH: Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Hydrogen Fluoride. March 1976.
- ACGIH: Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Fluorine. See annual publication for most recent information.
- ACGIH: Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Hydrogen Fluoride. See annual publication for most recent information.
- ECHA
- WHO, 1984
- IPCS, 1990

40. 석면 (Asbestos)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	UVCB	분자량	-
끓는점	-	녹는점	안소필리아트 950°C 백석면 800°C (분해온도)
증기압	0mmHg	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
발암성	1	H350	암을 일으킬 수 있음
특정 표적장기 독성- 반복 노출	1	H372	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킴

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	-
2014-12-30	기준화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

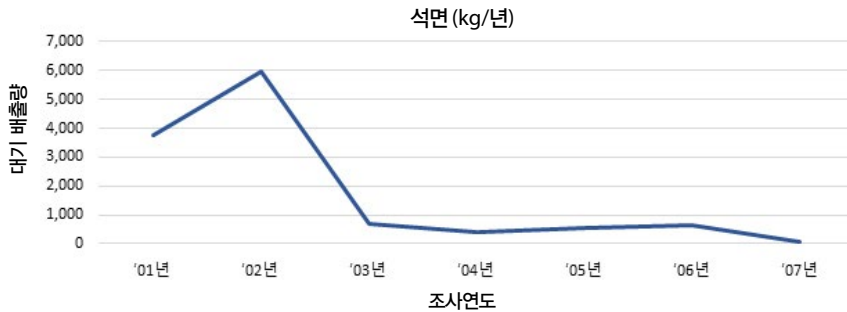
- ▶ 석면은 지붕 작업, 단열 및 전기절연, 시멘트 파이프 및 바닥, 마찰 재료, 코팅, 플라스틱, 섬유, 종이에 사용
- ▶ 산과 알칼리에 대한 내성, 유연성, 열에 대한 저항 등의 특징으로 상업적으로 널리 사용되었으며, 안정적이기에 환경에서도 지속성을 가짐
- ▶ 건강 문제로 인해 일부 사용이 금지되었으나 여전히 일부 건축 자재에 사용되고 있음
- ▶ 주로 지하 암석에 자연적으로 존재
- ▶ 일부 지역에서는 지구 표면에 가까운 석면 함유 암석이 교란되어 고농도의 석면 섬유를 공기 중으로 방출할 수 있음
- ▶ 석면 함유 암석의 채광, 제분 및 풍화, 단열재 등의 건축 자재에서의 섬유, 석면 함유 제품의 제조·마모 및 폐기, 도로 건설에 사용되는 브레이크 라이닝 또는 분쇄된 석면 함유 암석에서 방출되고 있음
- ▶ 석면으로 작업하는 동안, 광산 작업 주변 지역, 석면으로 작업하는 다른 사람들과 같은 공간에서 작업하는 동안, 작업자의 피부와 머리카락 등에서, 수리 또는 철거로 인해 석면 함유

건축 자재가 손상되는 가정 및 건물에서 흡입할 수 있음

(4) 배출량 정보

- ▶ 공기 중 배경수준은 약 0.0001개/cc로 매우 낮음(Holland and Smith, 2003)
- ▶ 미국의 석면 생산량은 1973년 3억 파운드에서 2002년 6백만 파운드로 감소되었음
- ▶ 2007년 국내에서 배출된 석면의 양은 90kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 석면 배출량 변화〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 석면을 1급 발암물질(그룹 1)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서도 석면을 발암물질(그룹 A)로 분류
- ▶ 흡입된 석면으로 인한 주요 질환은 폐암, 악성 중피종, 석면폐증이 있음
- ▶ 폐 조직과 신체의 다른 곳에서 섬유유의 내구성은 질병의 위험을 초래할 수 있음
- ▶ 직경이 2~5 μ m인 섬유유는 상부 기도에 침착되어 제거되는 경향이 있음
- ▶ 일부 흡입된 석면 섬유유는 폐에 도달하여 폐 조직, 특히 하부 폐 영역에 박힘
- ▶ 폐에서 일부 석면 섬유유(주로 짧은 섬유유)는 림프 배수 패턴을 따라 흉막 및 복막으로 이동할 수 있음
- ▶ 모든 유형의 섬유유는 폐에서 수년 동안 유지되지만 각섬석 섬유유는 같은 크기의 사문석 섬유유보다 더 천천히 분해됨
- ▶ 폐에 있는 석면 섬유유 존재는 염증, 세포 및 조직 손상으로 이어지는 다양한 반응을 일으켜 악성 및 비악성 질환을 유발할 수 있음
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 0.1개/cm³

- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 0.1 섬유/cc, (Excursion limit 30분)
- ▶ OSHA는 석면에 노출된 모든 근로자가 PPE 교육을 받을 것을 요구하며, PEL 이상 노출될 경우 의료 감시를 받도록 함
- ▶ Inhalation Unit Risk: 2.3×10^{-1} per f/mL, Respiratory, Lung cancer and mesothelioma (Selikoff *et al.*, 1979; Peto *et al.*, 1982; Seidman *et al.*, 1979; Peto, 1980; Finkelstein, 1983)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- EPA, Asbestos, 2016
- Holland and Smith, 2003
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- Occupational Exposure to Asbestos, 1994.
- Selikoff *et al.*, 1979; Peto *et al.*, 1982; Seidman *et al.*, 1979; Peto, 1980; Finkelstein, 1983

41. 니켈 및 그 화합물 (Nickel)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Ni	분자량	58.70
끓는점	2837°C	녹는점	1555°C
증기압	1mmHg at 1810°C	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
피부 민감성	1 (경고)	H317	알레르기성 피부반응을 일으킬 수 있음
발암성	2 (경고)	H351	암을 일으킬 것으로 의심됨
특정 표적장기 독성-반복노출	1 (위험)	H372	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 줌 (폐) (호흡)
수생환경 유해성 만성	3	H412	장기적 영향에 의해 수생생물에 유해의 우려가 있음

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	2mg/Sm ³ 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

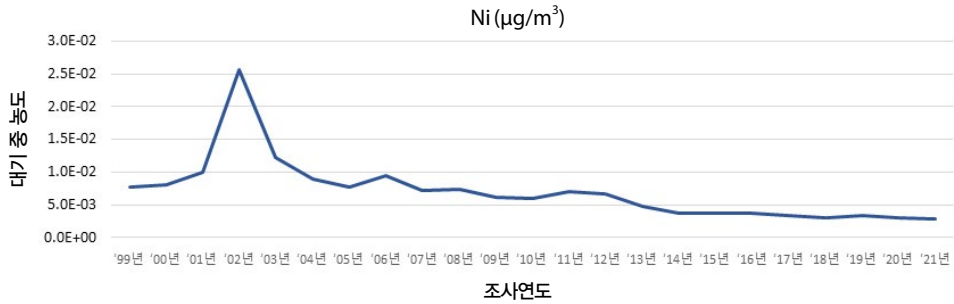
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 니켈은 전기도금제, 공정속도 조절제, 부식방지제, 정전기 방지제 등으로 사용
- ▶ 다른 원소와 결합된 니켈은 지각에서 자연적으로 발생
- ▶ 석유와 석탄 연소, 니켈 광산, 제련소 등에서 발생
- ▶ 니켈의 47%는 강철 생산에 이용하고 21%는 합금 생산에 이용
- ▶ 니켈을 태우거나 니켈 광산과 제련소 또는 도시 소각로에서 발생하는 것이 대기 중 발생의 대부분임
- ▶ 대기 중 주로 많은 니켈의 종류는 니켈 황산염
- ▶ 석유를 사용하는 장비의 보일러에서 나오는 재 중 니켈의 경우 평균 54%는 용해 가능한 형태
- ▶ 석탄 연소시 발생하는 니켈 황산염 중 용해 가능한 정도의 범위는 20~80%
- ▶ 기름과 석탄 연소로부터 발생하는 재 중에 불용성인 것은 니켈 산화물이나 금속 산화물로 존재
- ▶ 미국의 경우, 특히 석탄과 석유 연소가 니켈 배출의 주된 발생원인데 이중 석유원소가 60~90%의 니켈을 배출

(4) 배출량 정보

- ▶ 1999년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 니켈의 평균 농도는 $0.007\mu\text{g}/\text{m}^3$ (± 0.005 , $0.003\sim 0.026\mu\text{g}/\text{m}^3$)

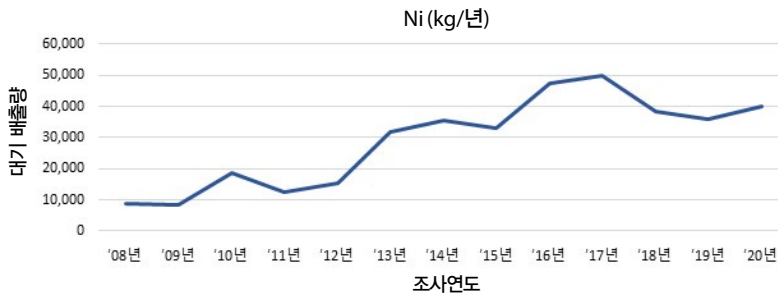
(자료 출처: 2021 대기환경연보, 국립환경과학원)



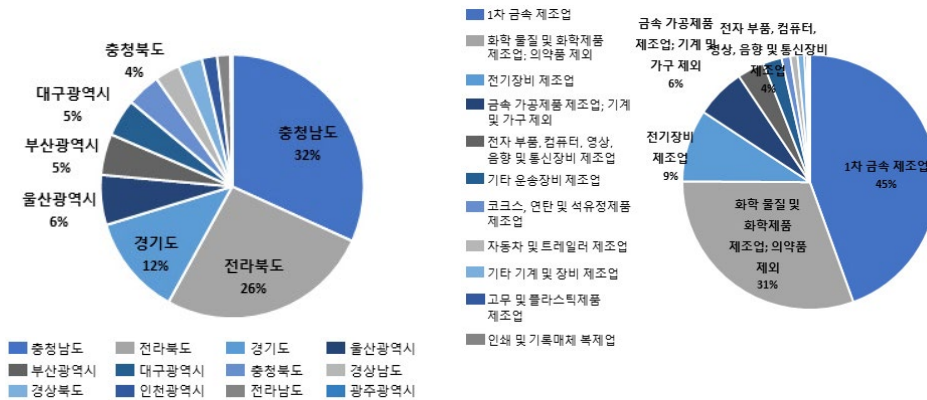
〈연도별 대기 중 니켈 농도 변화〉

- ▶ 2020년 국내에서 배출된 니켈의 양은 40,203kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 니켈 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 니켈 화합물을 1급 발암물질(그룹 1), 니켈 금속은 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질(그룹 2B)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서 니켈 정제소 분진과 니켈 아황화물을 발암물질(그룹 A)로 분류
- ▶ 인체에 있어서 니켈이 건강에 미치는 가장 흔한 유해 영향은 알레르기 반응임
- ▶ 니켈 정제소 또는 니켈 가공 공장에서 일하는 사람들은 만성 기관지염과 폐 기능 저하를 경험하였음
- ▶ 니켈 황산염에 노출된 후 도금 작업공장의 근로자들 사이에서는 알레르기성 천식이 보고되었음
- ▶ 작업자가 니켈 정제소 또는 니켈 처리 공장에서 작업하는 동안 높은 수준의 니켈 화합물이 포함된 먼지를 흡입하면 폐암 및 비강암 발생
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간 가중평균노출기준) $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ (니켈(가용성화합물)), $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ (니켈(불용성 무기화합물)), $1\text{mg}/\text{m}^3$ (니켈(금속))
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ (금속&불용성화합물)/ $1\text{mg}/\text{m}^3$ (가용성화합물)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA $15\text{mg}/\text{m}^3$ (흡입성 미립자 물질, 금속&불용성 화합물)/ 8시간 TWA $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ (가용성화합물)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 최대 10시간 TWA $0.015\text{mg}/\text{m}^3$, IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시 건강위험농도) $10\text{mg}/\text{m}^3$ (금속&불용성 화합물)/ $0.015\text{mg}/\text{m}^3$, IDLH $10\text{mg}/\text{m}^3$ (가용성화합물)
- ▶ Inhalation Unit Risk (니켈 정제소 분진): 2.4×10^{-4} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Respiratory, Lung cancer (Enterline and Marsh, 1982; Chovil *et al.*, 1981; Peto *et al.*, 1984; Magnus *et al.*, 1982)
- ▶ Inhalation Unit Risk (니켈 아황화물): 4.8×10^{-4} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Respiratory, Lung cancer (Enterline and Marsh, 1982; Chovil *et al.*, 1981; Peto *et al.*, 1984; Magnus *et al.*, 1982)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- 에어코리아 대기환경 연보, 2021
- EPA, Nickel compounds, 2000
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- ACGIH: Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Nickel [7440-02-0] and inorganic compounds including Nickel subsulfide, as Ni. See annual publication for most recent information.
- Enterline and Marsh, 1982; Chovil *et al.*, 1981; Peto *et al.*, 1984; Magnus *et al.*, 1982

42. 염화비닐 (Vinyl chloride)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₂ H ₃ Cl	분자량	62.598
끓는점	-13.8°C	녹는점	-153.8°C
증기압	3,330hPa at 20°C	log Kow	1.46 at 25°C
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 가스	1 (위험)	H220	극인화성 가스
고압가스	2 (경고)	H280	고압가스 포함; 가열하면 폭발할 수 있음 (저압, 임계 온도 158.4°C)
생식세포 변이원성	2 (경고)	H341	유전적인 결함을 일으킬 것으로 의심됨
발암성	1 (1A) (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	10~180ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2021-06-22	유독물질: 국립환경과학원 고시 제2021-36호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 염화비닐은 폴리 염화비닐의 단량체 및 플라스틱 생산의 혼성 중합체로 쓰이거나 건축, 자동차 산업, 전선의 절연체의 재료로 사용되며, 에어로솔 추진제 성분임
- ▶ 폴리 염화비닐은 파이프, 와이어 및 케이블 코팅, 포장재 등 다양한 플라스틱 제품을 제조 하는데 사용되고 있음
- ▶ 소량의 염화비닐은 가구 및 자동차 덮개, 벽 덮개, 가정용품 및 자동차 부품에 사용됨
- ▶ 플라스틱 설비, 위험 폐기물 처리장 및 매립지에서 방출된 염화비닐을 흡입하거나 작업장에서 공기 중 흡입할 수 있음
- ▶ 염화비닐 제조·가공공장, 유해폐기물 발생지, 매립지 주변 공기 중에서 검출된 바 있음
- ▶ 담배에서 나오는 담배 연기를 통해 공기 중의 염화 비닐에 노출될 수 있음(간접 흡연 포함)

(4) 배출량 정보

- ▶ 1982년 동안 전 세계 대기 중 염화비닐 배출량은 약 4억 파운드로 더 높게 측정된 추정치는 발견되지 않음
- ▶ 염화비닐 제조·가공공장, 유해폐기물 발생지, 매립지 근처 공기 중 1ppm 이상 검출되었으며, 일부 매립지에서는 44ppm 검출된 바 있음
- ▶ 담배 연기에서의 수치는 매우 낮으며, 보통 담배 한 개비 당 5~30 μ g 정도
- ▶ EPA (Environmental Protection Agency)의 NEI (National Emission Inventory) 데이터베이스에 따르면 2011년 15개의 서로 다른 배출원에서 공기로 방출된 염화비닐은 920,128파운드였으며, 폐기물 처리와 산업 공정으로 각각 전체 배출물의 약 30%와 60%를 차지하였음(EPA 2014a)
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 염화비닐의 양은 68,633kg 정도로 보고되었음
(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 염화비닐 배출량 변화〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 염화비닐을 1급 발암물질(그룹 1)로 분류
- ▶ 공기 중 높은 수준(10ppm 이상)으로 단기간 노출되면 현기증, 졸음, 두통과 같은 중추신경계 영향을 일으킴
- ▶ 흡입을 통한 염화비닐에 대한 장기간 노출의 주요 건강 영향은 간 손상
- ▶ 흡입 노출은 간암의 드문 형태인 혈관육종의 위험을 증가시키는 것으로 나타남
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 1ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 1ppm

- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 1ppm
- ▶ RfC for Inhalation Exposure: 1×10^{-1} per mg/m^3

System	RfC (mg/m^3)	Basis	PoD	Composite UF
Hepatic	1×10^{-1}	Liver cell polymorphism	NOAEL (HEC): $2.5\text{mg}/\text{m}^3$	30

- ▶ Inhalation Unit Risk: 4.4×10^{-6} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Continuous lifetime exposure during adulthood), Hepatic, Liver angiosarcomas, angiomas, hepatomas, and neoplastic nodules (Maltoni *et al.*, (1981, 1984))
- ▶ Inhalation Unit Risk: 8.8×10^{-6} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Continuous lifetime exposure from birth), Hepatic, Liver angiosarcomas, angiomas, hepatomas, and neoplastic nodules (Maltoni *et al.*, (1981, 1984))

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- EPA, Vinyl chloride, 2000
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2021
- Maltoni *et al.* (1981, 1984)

43. 다이옥신 (Dioxins)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂	분자량	322.0
끓는점	932°F	녹는점	581°F
증기압	0.000002mmHg at 77°F	log Kow	6.8
대기반감기	-	PBT 여부	○

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성 독성-경구	1 (위험)	H300	삼키면 치명적임
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
수생환경 유해성, 단기간 (급성)	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성, 장기간 (만성)	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

*가장 독성이 큰 것으로 알려지고 있는 2,3,7,8-TCDD(Tetrachlorodibenzo-P-dioxin)에 대한 정보

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	-
2019-04-09	환경기준: 잔류성오염물질 관리법	연간 평균치 0.6pg-TEQ/Sm ³ 이하
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 다이옥신은 특정 화학구조와 생물학적 특성을 공유하는 독성 화합물 그룹
- ▶ 수백가지의 화학물질로 존재하며, 세가지 계열 (polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), certain polychlorinated biphenyls (PCBs))로 구분할 수 있음
- ▶ PCDD와 PCDF는 의도적으로 생성되는 것이 아니라 뒤뜰에서 쓰레기를 태우는 것과 같은 인간활동의 결과로 생성
- ▶ 산불과 같은 자연적 과정에서도 PCDD와 PCDF가 생성
- ▶ PCBs는 제조된 물질이지만 더 이상 미국에서 생산되지 않음
- ▶ 주요 오염원은 폐기물 소각 또는 연소 연료(예: 나무, 석탄 또는 기름)와 같은 연소 공정으로 불완전연소 과정에서 발생되, 펄프 및 종이의 염소 표백과 같은 기타 산업 공정, 담배 연기

등을 통하여 생성될 수 있음

- ▶ Chlorophenols, PCBs 그리고 hexachlorobenzene 등 chlorophenols을 포함하는 유기염소계 화합물의 생산과정 중 부산물로 합성되기도 함
- ▶ 불완전연소와 열분해에 의해 형성되기에 금속 제련, 석유정제 등으로도 배출됨

(4) 배출량 정보

- ▶ 지난 10년 동안 EPA와 업계는 다이옥신 생산과 환경으로의 배출을 극적으로 줄이기 위해 협력해왔으며, 지난 30년 동안 감소해왔음
- ▶ 1998년 세계보건기구(WHO) 절차를 사용하여, 미국 환경에 대한 연가 TEQDF-WHO98의 방출량은 1987년 14,000g, 1995년 3,400g, 2000년 1,400g
- ▶ 1987년과 2000년 사이에 규제된 산업 자원에서 미국의 순환 환경으로 다이옥신 유사 화합물의 방출이 현저하게 감소했음을 나타냄
- ▶ 1987년과 1955년 미국에서의 다이옥신 주요 배출원은 도시 폐기물 연소였으나 2000년에는 4위로 떨어짐
- ▶ 2018년 국내 대기 중 다이옥신 농도는 0.006pg I-TEQ/Sm³으로 다이옥신 대기 환경기준의 약 1/100 수준(잔류성유기오염물질 환경 모니터링 백서, 2021)

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 2,3,7,8-TCDD (Tetrachlorodibenzo-P-dioxin)를 1급 발암물질(그룹 1)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서 2,3,7,8-TCDD을 동물에 대한 충분한 증거에 기초한 인간 발암 우려물질(그룹 B2)로 분류
- ▶ 높은 수준의 공기 중 2,3,7,8-TCDD에 대한 급성독성은 chloracne로 첫 노출 후 수개월 이내 발병할 수 있는 심각한 여드름과 유사한 상태임
- ▶ 고용량에 노출된 사람들에게서 나타나는 다른 피부 영향은 피부 발진, 변색, 과도한 체모 등이 있으며, 간 손상을 나타낼 수 있는 혈액 및 소변의 변화도 나타남
- ▶ 장기간 노출시 면역계, 발달 신경계, 내분비계 및 생식기능의 손상과 관련있음
- ▶ 특정 동물 종에서 2,3,7,8-TCDD는 특히 해롭고 단일 노출 후 사망을 유발할 수 있으며, 더 낮은 수준에 노출되면 체중 감소, 간 손상 및 내분비계 장애와 같은 동물의 다양한 영향을 유발할 수 있음
- ▶ 많은 동물 종에서 면역체계를 약화시키고 박테리아 및 바이러스와 싸우는 시스템의 능력을 감소시키며, 다른 동물 연구에서는 생식 기능 손상과 선천적 결함이 발생하였음

- ▶ 임신 중 노출된 일부 동물 종은 유산을 했으며 임신 중 노출된 동물의 자손은 종종 골격 기형, 신장 결함 및 면역 반응 약화를 포함한 심각한 선천적 결함을 보임

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 잔류성유기오염물질 환경 모니터링 백서, 2021
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- EPA, dioxins, 2022
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정

44. 페놀 및 그 화합물 (Phenol)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₆ H ₆ O	분자량	94.11
끓는점	181.75°C	녹는점	40.91°C
증기압	0.35mmHg at 25°C	log Kow	1.46
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성 독성-경구	3 (위험)	H301	삼키면 유독함
급성 독성-경피	3 (위험)	H311	피부와 접촉하면 유독함
급성 독성-흡입	4 (경고)	H332	흡입하면 유해함
피부 부식성/자극성	1 (위험)	H314	피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴
생식세포 변이원성	2 (경고)	H341	유전적인 결함을 일으킬 것으로 의심됨
특정 표적장기 독성-반복노출	2 (경고)	H373	장기간 또는 반복 노출되면 장기
수생환경 유해성, 장기간 (만성)	2	H411	장기적 영향에 의해 수생생물에 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	4ppm 이하
2021-06-22	유독물질: 국립환경과학원 고시 제2021-36호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

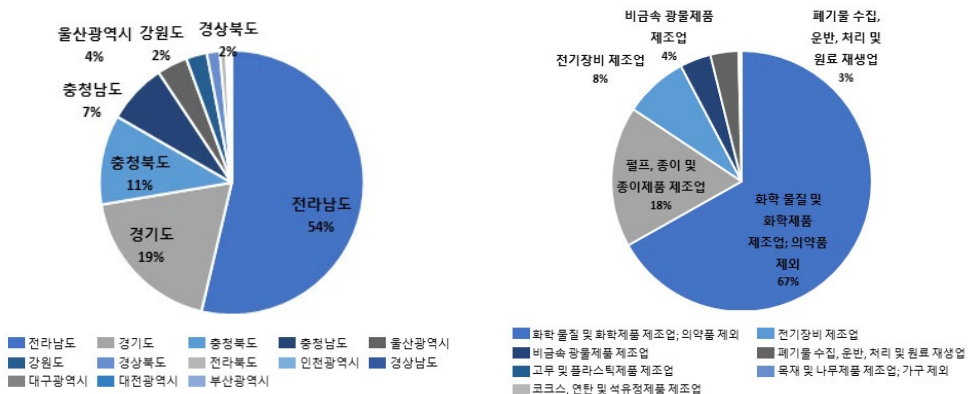
- ▶ 페놀의 일차적 용도는 합판, 건설, 자동차 및 가전에 사용되는 페놀 수지 제조에 있음
- ▶ 나일론 및 에폭시 수지 제조의 중간체인 caprolactam과 bisphenol A 제조에 사용
- ▶ 살균제, 인후염, 구강 세척제와 같은 의약품 등으로도 사용되고 있음
- ▶ 페놀을 사용하거나 제조하는 산업, 자동차 배기가스, 담배 연기, 목재 연소를 통해 대기 중으로 배출되고 있음
- ▶ 석유 산업, 나일론·에폭시 수지 및 폴리카보네이트, 목재 보존제, 윤활유 첨가제, 가소제 및 기타 특수 화학물질의 중간체 제조 등 같은 산업에 종사하는 근로자는 페놀에 노출될 수 있음
- ▶ 페놀이 함유된 의약품 또는 흡연 담배를 통해 페놀에 노출될 수 있음

(4) 배출량 정보

- ▶ 2004년 미국 페놀 생산의 연간 총 용량은 66억 파운드에 달했음(CMR, 2005)
 - ▶ 미국 국립 무역 데이터 은행(USITC 2008)에 따르면 페놀의 수출량은 5억 3백만kg(11억 1천만 파운드)에 달함
 - ▶ 2020년 국내에서 배출된 페놀의 양은 51,417kg 정도로 보고되었음
- (자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 페놀 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 모든 노출 경로에서 자극적이고 부식성이 있는 물질로 공기 중 고농도의 페놀은 호흡 자극을 유발
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 5ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 5ppm (19mg/m³)

- ▶ NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 최대 10시간 TWA 5ppm (19mg/m³), 15분 ceiling limit 15.6ppm (60mg/m³), IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 250ppm
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 5ppm

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- ATSDR, Toxicological Profile for Phenol, 2014
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- ACGIH: Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Phenol. See annual publication for most recent information.
- NIOSH: Occupational Health Guideline for Phenol, 1978.
- OSHA, 2021

45. 베릴륨 및 그 화합물 (Beryllium)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	Be	분자량	9.012
끓는점	2,468°C	녹는점	1,287°C
증기압	0mmHg	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성 독성-경구	3 (위험)	H301	삼키면 유독함
피부 부식성/자극성	2 (경고)	H315	피부에 자극을 일으킴
피부 민감성	1 (경고)	H317	알레르기성 피부반응을 일으킬 수 있음
심한 눈손상/눈자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
급성 독성-흡입	2 (위험)	H330	흡입 시 치명적임
특정표적 장기독성-1회 노출	3 (경고)	H335	호흡계 자극을 일으킬 수 있음 (호흡)
발암성	1B (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음 (호흡)
특정표적 장기독성-반복 노출	1	H372	장기간 또는 반복 노출되면, 장기에 손상을 줌 (호흡) (폐)

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	0.04~0.05mg/Sm ³ 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-
2018-12-28	암, 돌연변이성물질 등: 환경부고시 제2018-232호	-

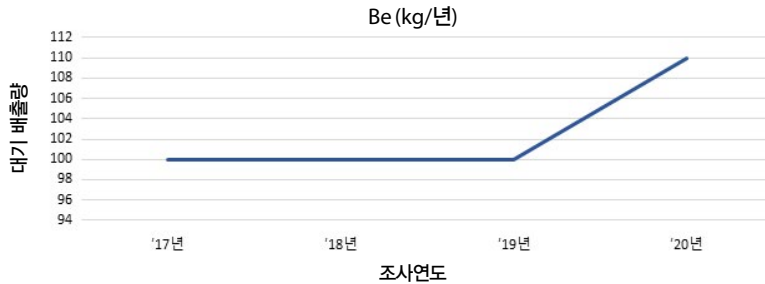
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 베릴륨은 구리 베릴륨 합금에서 합금 원소, 핵 산업에서 중성자의 원료와 우주 공학의 구조 재료 등으로 사용되고 있음
- ▶ 암석, 석탄, 토양, 화산 먼지에서 자연적으로 발생하는 가벼운 금속
- ▶ 상업적으로 베릴륨 회수를 위해 bertrandite과 beryl ore가 채굴
- ▶ 환경으로 배출되는 주요 원인은 베릴륨 함유 미립자와 비산회를 대기중으로 방출하는 화석 연료(주로 석탄)의 연소

- ▶ 베릴륨 금속, 세라믹, 합금 또는 염을 사용하거나 그 주위에서 작업하는 사람은 작은 입자를 흡입할 수 있음

(4) 배출량 정보

- ▶ 미국의 대기 중 베릴륨의 연간평균 농도는 일반적으로 $0.2\text{ng}/\text{m}^3$ 미만
- ▶ 실내 공기 중 베릴륨의 평균 농도는 뉴욕시의 경우 $0.0015\text{ng}/\text{m}^3$, 로스앤젤레스의 경우 $0.0018\text{ng}/\text{m}^3$ 수준이었음
- ▶ 2011년부터 2021년까지 우리나라에서 측정된 베릴륨의 평균 농도는 N.D
(자료 출처: 2021 대기환경연보, 국립환경과학원)
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 베릴륨 양은 110kg 정도로 보고되었음
(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 베릴륨 배출량 변화〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 베릴륨을 1급 발암물질(그룹 1)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서 베릴륨을 인간에 대한 제한적 증거에 기초한 인간 발암 우려 물질(그룹 B1)로 분류
- ▶ 높은 수준의 베릴륨에 대한 급성 흡입 노출은 인간의 폐에 염증이나 급성 폐렴을 유발하는 것으로 관찰
- ▶ 급성으로 높은 수준의 베릴륨에 노출시 상부 및 하부 호흡기관과 기도 염증, 세기관지염, 폐부종 및 화학적 폐렴을 유발할 수 있음(Kim, 2004)
- ▶ 치명적일 경우 폐의 조직 병리학적 소견은 간질성 부종, 세포침윤, 형질 세포 수 증가, 폐포 세포 증식 또는 박리, 때로는 폐포간 부종, 유리질막 및 경결성 폐렴을 포함(IARC, 1993)
- ▶ 만성 흡입 노출은 폐에 육아종성 병변(비암)이 생기는 만성 베릴륨 질환을 유발
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간

가중평균노출기준) 0.002mg/m³, STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 0.01mg/m³

- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 0.2µg/m³, Action level 0.1µg/m³
- ▶ NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 4mg/m³
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 0.00005mg/m³
- ▶ EPA (Environmental Protection Agency): 10g/ 24 hours
- ▶ RfC for Inhalation Exposure: 2 × 10⁻⁵ per mg/m³
- ▶ Inhalation Unit Risk: 2.4 × 10⁻³ per µg/m³, Respiratory, Lung cancer (Wagoner *et al.*, 1980)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	PoD	Composite UF
Immune, Respiratory	2 × 10 ⁻⁵	Beryllium sensitization and progression to CBD	LOAEL (HEC): 2.0 × 10 ⁻⁴ mg/m ³	10

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- 에어코리아 대기환경 연보, 2021
- 화학물질 배출 · 이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- ATSDR, Beryllium Toxicity, 2013
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- Kim, 2004
- IARC, 1993
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- ACGIH: Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Beryllium [7440-41-7] and compounds, as Be. See annual publication for most recent information.
- NIOSH: Occupational Safety and Health Guideline for Beryllium and Its Compounds. 1988.
- OSHA, 2021
- Wagoner *et al.*, 1980

46. 프로필렌옥사이드 (Propyleneoxide)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₃ H ₆ O	분자량	58.08
끓는점	34.23°C	녹는점	-112.13°C
증기압	538mmHg at 25°C	log Kow	0.03
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	1 (위험)	H224	극인화성 액체 및 증기
급성 독성-경구	4 (경고)	H302	삼키면 유해함
급성 독성-경피	3 (위험)	H311	피부와 접촉하면 유독함
급성 독성-흡입	3 (위험)	H331	흡입하면 유독함
심한 눈 손상/눈자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
생식세포 변이원성	1B (위험)	H340	유전적인 결함을 일으킬 수 있음
발암성	1B (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음
특정표적 장기독성-1회 노출	3 (경고)	H335	호흡기 자극을 일으킬 수 있음

(2) 규제정보

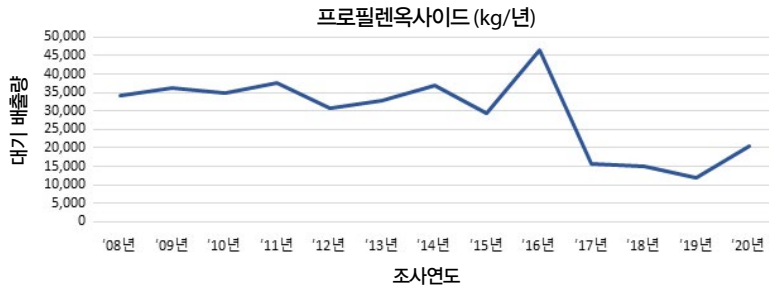
고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	90ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

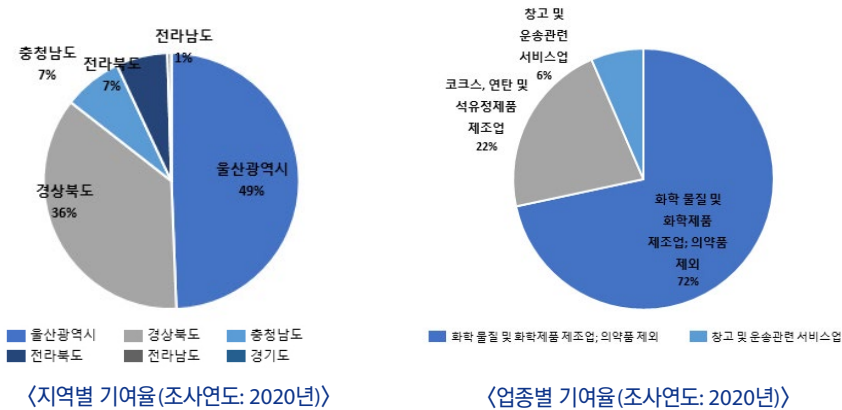
- ▶ 프로필렌옥사이드는 화학 중간체, 식품 멸균제, 제초제, 살균제와 살충제에 사용
- ▶ 주요 용도는 폴리에테르(폴리우레탄 폼의 주요 성분)와 프로필렌 글리콜의 생산으로 식품 및 플라스틱 의료기기의 훈증, 디프로필렌 글리콜 및 글리콜 에테르의 제조, 제초제, 용제, 윤활제, 계면활성제 제조에도 사용
- ▶ 프로필렌옥사이드의 생산, 저장, 운송 및 사용으로 인해 직업상 노출될 수 있음
- ▶ 대기 중으로 방출되는 프로필렌옥사이드는 주로 생산 또는 중간체 또는 훈증제 및 토양 살균제로 사용되는 동안 발생할 것으로 예상됨

(4) 배출량 정보

- ▶ 생산시설에서 20km 이상 떨어진 곳의 평균 대기농도는 10^{-10} ppm 미만으로 추정
- ▶ 1980년 미국의 프로필렌옥사이드 생산량은 약 1조 7,670억 파운드였음(USITC, 1981)
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 프로필렌옥사이드 양은 20,392kg 정도로 보고되었음
(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 프로필렌옥사이드 배출량 변화〉



(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 프로필렌옥사이드를 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질 (그룹 2B)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서 프로필렌옥사이드를 동물에 대한 충분한 증거에 기초한 인간 발암 우려물질(그룹 B2)로 분류
- ▶ 사람과 동물의 프로필렌옥사이드에 대한 급성(단기) 노출은 눈과 호흡기 자극을 유발
- ▶ 비강, 기관, 폐의 염증성 병변 및 신경학적 영향은 흡입에 의해 노출된 만성적(장기적)동물에서 관찰되었음

- ▶ 직업적 노출 후 비정기적 DNA 합성이 저해되었음(Pero, R.W. *et al.*, 1982)
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 2ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 100ppm (240mg/m³)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도): 400ppm
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 2ppm
- ▶ RfC for Inhalation Exposure: 3×10^{-2} per mg/m³
- ▶ Inhalation Unit Risk: 3.7×10^{-6} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Respiratory, Nasal cavity hemangioma or hemangiosarcoma (NTP, 1985; Renne *et al.*, 1986)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	PoD	Composite UF
Respiratory	3×10^{-2}	Nest-like infolds of the nasal respiratory epithelium	LOAEL (HEC): 2.9mg/m ³	100

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- USITC, 1981
- 화학물질 배출 · 이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- Pero, R.W. *et al.*, 1982
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- ACGIH: Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Propylene oxide. See annual publication for most recent information.
- OSHA, 2021
- NTP, 1985; Renne *et al.*, 1986

47. 폴리염화비페닐 (polychlorinated biphenyls)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	$C_{12}H_{10-n}Cl_n$	분자량	291.98~360.86
끓는점	340~375°C	녹는점	-
증기압	0.00000058mmHg	log Kow	-
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성 독성-경구	4 (경고)	H302	삼키면 유해함
급성 독성-경피	3 (위험)	H311	피부와 접촉하면 유독함
발암성	1 (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음
특정표적 장기독성-반복 노출	2 (경고)	H373	장기간 또는 반복 노출되면 장기 (영향을 받는 것으로 알려진 모든 장기를 명시한다.)에 손상을 일으킬 수 있음
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성 만성	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	-
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2014-12-30	금지물질: 환경부고시 제2014-238호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 폴리염화비페닐은 현미경 관찰 시 봉입제, 유침 오일, 광학 액체 등의 실험실 물질로 사용
- ▶ 유압유, 연화제, 접착제, 난연제, 왁스 연화제, 살충제 연화제, 잉크, 윤활유로도 사용
- ▶ PCB의 알려진 천연 공급원은 존재하지 않음
- ▶ 도시 매립지에서 PCB 함유 소비자 제품 폐기, 변압기 유체와 같은 PCB가 포함된 폐기물의 불법 또는 부적절한 투기, PCB가 포함된 전기 변압기 및 커패시터의 누출, 제대로 관리되지 않은 독성 폐기물 지역 등에서 배출
- ▶ 오늘날 주요 노출원은 이전에 환경에 배출된 PCB의 순환으로 매우 느리게 분해되고 생태계 내 순환 및 운송되며 먹이 사슬을 따라 올라면서 생체 축적되는 특징으로 인한 것임

- ▶ 미국에서는 더 이상 PCB를 제조하지 않지만 작업자는 1977년 이전에 제조된 장비를 수리하는 동안, PCB와 관련된 사고 또는 유출, 폐기물 현장 청소 또는 폐기 활동 중에 노출될 수 있음

(4) 배출량 정보

- ▶ 1929년에서 1977년 사이 미국에서 12억 5천만 파운드 이상의 PCB가 생산되었음
- ▶ EPA의 국가 우선 순위 목록에 있는 1,598개의 유해 폐기물 부지 중 최소 500개에서 확인되었으며 전 세계적으로 낮은 수준으로 발견되었음
- ▶ 다이옥신과 유사한 특성을 가지고 있으며(dioxin-like PCBs, dl-PCBs), PCBs 이성질체 중 독성이 높은 12종의 2017년 연평균 농도는 0.002pgWHO-TEQ/Sm³으로 나타났음(잔류성 유기오염물질 환경 모니터링 백서, 2021)

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 PCB를 1급 발암물질(그룹 1)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서도 PCB를 발암 물질(그룹 1)로 분류
- ▶ 면역계, 생식계, 신경계, 내분비계 및 기타 건강에 미치는 영향을 포함하여 동물에서 암뿐만 아니라 여러 가지 심각한 비암 건강 영향을 유발하는 것으로 나타남
- ▶ 고도로 염소화된 동족체는 친유성 특성으로 인해 지질이 풍부한 조직에 축적되는 경향이 있어 일반적으로 지방 조직, 모유, 간 그리고 피부에서 발견됨
- ▶ 간은 PCB 대사의 주요 부위로 일부 간 효소 수치 증가, 간 손상 가능성, chlorance 및 관련 피부 병변, 호흡기 문제 등 광범위한 영향이 발생할 수 있음
- ▶ PCBs에 노출된 어린이 중 상위 5%에서 운동기능 발달 지연이 나타났다(Rom, W.N., 1992).
- ▶ 급성 및 만성 노출이 신경학적이고 비특이적인 정신적 효과를 유발하는 것으로 보고되었음. 예를 들면, 두통, 어지러움, 오심, 우울증, 수면 장애, 기억장애, 불안증, 피로, 무력감 등이 있음(WHO, 1993)
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 0.5mg/m³ (54% Cl 함유 PCB), 8시간 TWA 1.0mg/m³ (42% Cl 함유 PCB)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 최대 10시간 TWA 1.0µg/m³
- ▶ Inhalation Unit Risk: 1 × 10⁻⁴ per µg/m³, Hepatic, Liver hepatocellular adenomas, carcinomas, cholangiomas, or cholangiocarcinomas (Brunner *et al.*, 1996; Norback and Weltman, 1985)
- ▶ 장기간 노출 - 흡입: 96.6µg/m³(DNEL, 인체, 작업자, 전신 영향)(자료출처: ECHA, 1970)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- ATSDR, Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Toxicity, 2018
- 잔류성유기오염물질 환경 모니터링 백서, 2021
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- Rom, W.N., 1992
- WHO, 1993
- Brunner *et al.*, 1996; Norback and Weltman, 1985
- ECHA, 1970

48. 클로로포름 (Chloroform)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	CHCl ₃	분자량	119.38
끓는점	61 ~ 62°C	녹는점	-63.5°C
증기압	158mmHg at 20°C	log Kow	1.97 at 20°C, pH7
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성 독성-경구	4 (경고)	H302	삼키면 유해함
급성 독성-흡입	3 (위험)	H331	흡입하면 유독함
피부 부식성/자극성	2 (경고)	H315	피부에 자극을 일으킴
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
발암성	2 (경고)	H351	암을 일으킬 것으로 의심됨 (흡입, 경구)
생식독성	2 (경고)	H361	태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 것으로 의심됨
특정표적 장기독성-1회 노출	3 (경고)	H336	졸음 또는 현기증을 일으킬 수 있음
특정표적 장기독성-반복 노출	1 (위험)	H372	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킴 (간 및 신장)

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	3ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 주로 중간체, 실험실용 물질, 용제로 사용되고 있음
- ▶ 과거에는 수술 중 흡입 마취제로 사용되었지만 오늘날에는 다른 화학 물질을 만드는데 사용되며 염소가 물에 첨가될 때 소량 형성될 수 있음
- ▶ 자연 발생원은 규명된 바 없으며 인위적인 오염원 중 클로로포름 제조과정이나 다른 물질의 제조과정에서 부산물로 형성되는 경우가 가장 중요한 오염원임

- ▶ 염소를 이용한 종이 표백, 음용수의 염소소독 수용장의 염소소독, 냉각수의 염소소독, 폐수의 염소소독, 교통기관의 배기가스, 대기 중의 트리클로로에탄의 분해, 1,1,1-트리클로로에탄의 분해 등의 오염원이 있음

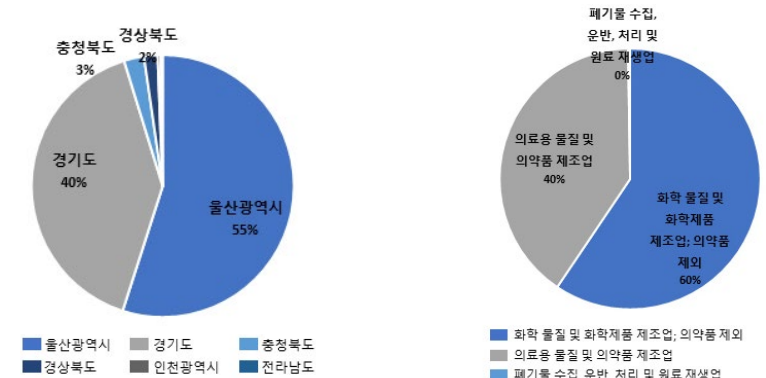
(4) 배출량 정보

- ▶ 1990년대 초 주변 공기 중 클로로포름의 배경 수준은 0.00004ppm으로 추정되었음
- ▶ 1994년 미국의 실제 생산량은 5억 6천 5백만 파운드였음
- ▶ 대기 중 클로로포름의 농도가 도시 외곽지역에서는 0.1~0.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 도심지역에서는 0.3~9.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 오염원이 있는 지역에서는 4.1~110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다고 보고되었음
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 클로로포름의 양은 22,914kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 클로로포름 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 클로로포름을 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질(그룹 2B)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서도 클로로포름을 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질(그룹 B2)로 분류
- ▶ 900ppm의 클로로포름을 짧은 시간 동안 흡입하면 현기증, 피로 및 두통이 발생할 수 있음
- ▶ 공기를 통해 클로로포름을 흡입할 경우 간과 신장이 손상될 수 있음
- ▶ 동물 연구에 따르면 임신 중 30~300ppm의 클로로포름이 포함된 공기를 흡입한 rats와 mice 중 클로로포름을 먹은 쥐에서 유산이 발생한 것으로 나타남. 임신 중 클로로포름을 흡입한 rats와 mice의 자손은 선천적 결함이 있었으며, 며칠 동안 400ppm의 클로로포름이 함유된 공기를 호흡한 mice에서 이상 정자가 발견되었음
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 10ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 50ppm, 240mg/m³
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 정상 8시간 근무 및 주당 40시간 근무시 TWA 10ppm(49mg/m³)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준): 60분 2ppm
- ▶ Inhalation Unit Risk: 2.3×10^{-5} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Hepatic, Hepatocellular carcinoma (NCI, 1976)
- ▶ 급성독성 - 흡입: 6.2g/m³/6hr (LC₅₀ (Lethal dose for 50 percent kill), mouse, 증기)
- ▶ 생식독성 - 흡입: 3ppm (F1, rat, NOAEC (No-observed-adverse-effect level), 태아독성)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, Chloroform, 2000
- ATSDR, Toxicological Profile for Chloroform, 2015
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- NCI, 1976

49. 포름알데히드 (Formaldehyde)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	CH ₂ O	분자량	30.03
끓는점	-19.1°C	녹는점	-118°C
증기압	5185hPa at 25°C	log Kow	0.35
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 가스	1 (위험)	H220	극인화성 가스
고압가스	2 (경고)	H280	고압가스 포함; 가열하면 폭발할 수 있음
급성 독성-경구	3 (위험)	H301	삼키면 유독함
급성 독성-경피	3 (위험)	H311	피부와 접촉하면 유독함
급성 독성-흡입	2 (위험)	H330	흡입하면 치명적임
피부 부식성/자극성	1 (위험)	H314	피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴
피부 과민성	1A (경고)	H317	알레르기성 피부 반응을 일으킬 수 있음
생식세포 변이원성	2 (경고)	H341	유전적인 결함을 일으킬 것으로 의심됨
발암성	1 (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	10ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2014-12-30	제한물질: 환경부고시 제2014-238호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

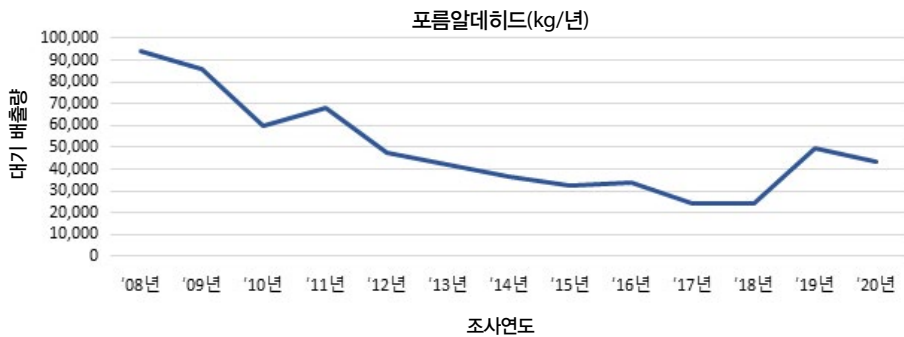
- ▶ 주로 가금류와 돼지 농장 및 가공 공장과 같은 농업시설에서 뿐만 아니라 감귤류 포장 및 버섯 농사에서 훈증제로 사용됨
- ▶ 복합 목재 제품의 제조에 사용되는 수지, 건축 자재 및 단열재, 접착제 같은 가정용 제품, 일부 의약품, 비료 및 살충제에 사용되고 있음

- ▶ 직접 연소원으로는 발전소, 소각로, 정유소, 목재 난로, 등유 히터, 담배 등이 있음
- ▶ 연소 과정에서 방출되는 탄화수소 또는 기타 포름알데히드 전구체의 광화학적 산화에 의해 간접적으로 생성됨(NRC, 1981)
- ▶ 다른 인위적 배출원에는 포름알데히드 생산으로부터의 배기가스, 디젤 및 가솔린 자동차의 배기가스, 훈증제 등이 있음
- ▶ 자연적 배출원에는 산불, 동물 배설물, 생물학적 시스템의 미생물 제품, 식물 휘발성 물질 등이 있음

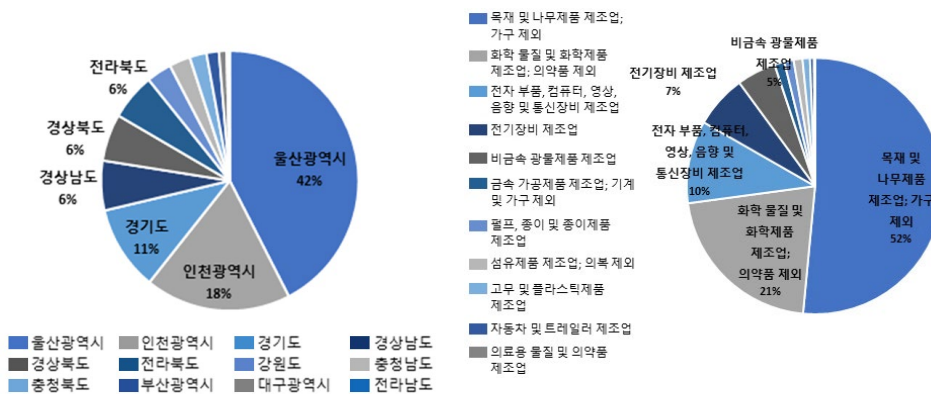
(4) 배출량 정보

- ▶ 미국의 시골과 도시 지역을 대상으로 한 여러 개별 연구에서 대기 중 농도는 1~68ppb였음 (Grosjean, 1982; Salas and Singh, 1986; Schulam *et al.*, 1985; Singh *et al.*, 1982)
- ▶ 새로 건설된 가정에 대한 최근 연구는 0.076ppm의 농도 수준이었음(Hare *et al.*, 1996)
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 포름알데히드의 양은 43,597kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 포름알데히드 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 포름알데히드를 1급 발암물질(그룹 1)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서도 포름알데히드를 인간에 대한 제한적 증거에 기초한 인간 발암 우려물질(그룹 B1)로 분류
- ▶ 흡입 시 인후통, 기침, 숨참을 유발할 수 있으며, 호흡기의 과민성과 자극을 유발할 수 있음
- ▶ 25에서 30ppm의 농도에서 폐부종 및 폐렴을 일으킬 수 있는 심각한 호흡기 손상을 유발하며, 고농도에서 치명적일 수 있음
- ▶ 발암성 물질로 노출 시 메스꺼움, 구토, 설사, 기침, 기관지염, 폐렴, 혈뇨, 중추신경계의 장애, 쇼크, 혼수 및 사망할 수 있음
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 0.3ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 0.75ppm, action level 0.5ppm, STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 2ppm
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 0.1ppm, STEL 0.3ppm (0.37mg/m³)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 8시간 TWA 0.016ppm, 15분 ceiling limit 0.1ppm, IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 20ppm
- ▶ Inhalation Unit Risk: 1.3×10^{-5} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Respiratory, Squamous cell carcinoma (Kerns *et al.*, 1983)
- ▶ DNEL (Derived-No-Effect-Levels, 무영향도출수준) - 흡입: 3.2mg/m³ (인체, 전신) (ECHA)
- ▶ DNEL - 흡입: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (인체, 국소) (ECHA)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- NRC, 1981
- ATSDR, Toxicological Profile for Formaldehyde, 2015
- EPA, Formaldehyde, 2000
- Grosjean, 1982; Salas and Singh, 1986; Schulam *et al.*, 1985; Singh *et al.*, 1982
- Hare *et al.*, 1996
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132

- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2021
- Kerns *et al.*, 1983
- ECHA

50. 아세트알데히드 (Acetaldehyde)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₂ H ₄ O	분자량	44.05
끓는점	21°C	녹는점	-124°C
증기압	101.3kPa at 20.16°C	log Kow	0.63 at 25°C
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	1 (위험)	H224	극인화성 액체 및 증기
급성 독성-경구	4 (경고)	H302	삼키면 유해함
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
생식세포 변이원성	2 (경고)	H341	유전적인 결함을 일으킬 것으로 의심됨
발암성	1 (1B) (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음 (호흡)
특정 표적장기 독성-1회 노출	3 (경고)	H335	호흡기 자극을 일으킬 수 있음 (호흡) (호흡기계)

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	10ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 주요 다른 화학물질의 합성과정에서 중간생성물로 사용
- ▶ 향수, 폴리에스테르 수지 및 염기성 염료의 생산에 사용되며, 과일과 생선의 방부제, 향미제, 알코올, 연료 조성물, 경화 젤라틴, 고무, 태닝, 제지 산업에서 용매로 사용
- ▶ 환경에서 어디에나 존재하며 에탄올의 분해로 인해 체내에서 형성될 수 있음
- ▶ 식물 호흡의 중간 생성물, 벽난로와 목재 난로에서 불완전한 목재 연소, 커피 로스팅, 담배 연소, 차량 배기 가스, 석탄 정제 및 폐기물 처리의 산물로 형성
- ▶ 가정용 벽난로와 목재 난로가 가장 높은 배출원이며, 다양한 산업 배출원이 그 다음임
- ▶ 아세트알데히드의 제조 및 사용 중 직업상 노출이 발생할 수 있음

- ▶ 체내에서 형성될 수 있으므로 알코올 음료를 소비하는 사람들도 아세트알데히드의 공급원

(4) 배출량 정보

- ▶ 캘리포니아와 로스엔젤레스에서 아세트알데히드의 수준은 최대 32ppb까지 측정되었음
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 아세트알데히드의 양은 131kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 아세트알데히드 배출량 변화〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 아세트알데히드를 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질 (그룹 2B)로 분류
- ▶ 혈액과 호흡에서 검출돼 노출 여부를 판단할 수 있음
- ▶ 급성 흡입 노출 영향은 인간의 눈, 피부, 호흡기에 대한 자극으로 더 높은 수준에서의 노출 시 사람의 흥분, 기침, 폐부종 및 과사가 발생할 수 있음
- ▶ 동물실험에서 급성 흡입은 호흡수를 저하시키고 혈압을 상승시킴
- ▶ 만성적인 중독 증상은 알코올 중독 증상과 유사함
- ▶ 만성적인 흡입 노출은 코 점막 및 기관의 변화, 성장 지연, 약간의 빈혈 및 신장 체중 증가를 초래하였음
- ▶ 동물실험 연구에서 아세트알데히드를 주입한 쥐에서 배아 흡수의 높은 발생률이 관찰되었으며, 노출된 쥐는 골격 기형, 출생 체중 감소, 산후 사망률 증가가 보고되었음
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간 가중평균노출기준) 50ppm, STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 150ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 200ppm (360mg/m³)

- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): ceiling limit 25ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 2000ppm
- ▶ 급성독성 - 흡입: 24.04mg/L (LC₅₀ (Lethal dose for 50 percent kill), male/female rats, 4 hour) (자료출처: ECHA)
- ▶ RfC for Inhalation Exposure: 9×10^{-3} per mg/m³
- ▶ Inhalation Unit Risk: 2.2×10^{-6} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Respiratory, Nasal squamous cell carcinoma or adenocarcinoma (Woutersen and Appleman, 1984)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	PoD	Composite UF
Nervous, Respiratory	9×10^{-3}	Degeneration of olfactory epithelium	NOAEL (HEC): 8.7mg/m ³	1000

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, Acetaldehyde, 2000
- 화학물질 배출 · 이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2020
- ECHA
- Woutersen and Appleman, 1984

51. 벤지딘 (Benzidine)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₁₂ H ₁₂ N ₂	분자량	184.24
끓는점	401°C	녹는점	120°C
증기압	2.5 × 10 ⁻⁵ mmHg at 20.16°C	log Kow	1.34
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성 독성-경구	4 (경고)	H302	삼키면 유해함
발암성	1 (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성 만성	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	2ppm 이하
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2014-12-30	금지물질: 환경부고시 제2014-238호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 착색제, 시약, 경화제, 리그닌 측정, 화학중간체로 사용되고 있음
- ▶ 주요 용도는 염료, 가죽, 섬유 및 제지 산업에서 아조 염료의 생산
- ▶ 1973년 산업안전보건협회(OSHA)의 규정을 통해 생산 금지되어 더 이상 미국에서 상업적 판매를 위해 생산되지 않으나 벤지딘 기반 염료는 미국으로 수입될 수 있음
- ▶ 벤지딘 고체 폐기물을 부적절하게 처리한 곳에서 검출되었음

(4) 배출량 정보

- ▶ 공기 중 벤지딘 농도에 대한 데이터는 없음
- ▶ 일반인들은 오염된 환경으로 인해 노출되지 않을 것이며, 통제되지 않는 위험 폐기물 현장 근처에 사는 사람들은 벤지딘에 노출될 수 있음
- ▶ 1972년 최소 3개의 제조업체가 미국에서 4.72 × 10³ metric tons의 벤지딘을 생산

- ▶ 산업 보고서에 따르면 어떤 생산시설에서도 벤지딘 배출량이 보통 0.454kg/day을 초과하지 않음
- ▶ 업계에 따르면 품질관리 규격은 20ppm을 초과하지 않도록 규정하고 있지만 실제 배출되는 벤지딘 농도는 일반적으로 10ppm 이하(Status assessment of toxic chemicals: Benzidine)

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 벤지딘을 1급 발암물질(그룹 1)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서 벤지딘을 발암물질(그룹 A)로 분류
- ▶ 사람에서 벤지딘에 만성적으로 노출되면 방광에 손상을 초래할 수 있음
- ▶ 역학 연구에 따르면 직업상 노출은 방광암의 위험을 증가시키는 것으로 나타남
- ▶ 동물 연구는 구강, 흡입, 주사 노출을 통한 벤지딘 노출로부터 여러 부위에서 다양한 종양 유형을 보고하였음
- ▶ 소변에서 벤지딘의 분해 생성물을 측정할 수 있음
- ▶ Inhalation Unit Risk: 6.7×10^{-2} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Urinary, Bladder tumors (Zavon, 1973)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, Benzidine, 2000
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- Zavon, 1973

52. 1,3-부타디엔 (1,3-Butadiene)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₄ H ₆	분자량	54.09
끓는점	-4.41°C at 1atm	녹는점	-108.9°C at 1atm
증기압	2,170hPa at 16.85°C	log Kow	1.99 at 25°C
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 가스	1 (위험)	H220	극인화성 가스
고압가스	2 (경고) (액화가스)	H280	고압가스 포함; 가열하면 폭발할 수 있음
생식세포 변이원성	1 (1B) (위험)	H340	유전적인 결함을 일으킬 수 있음 (호흡)
발암성	1 (1A) (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음 (호흡)

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	3ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 고분자 원료, 복합제, 연료, 접착제, 합성수지, 합성출발물질 및 중간체로 쓰임
- ▶ 고무와 플라스틱 생산에 사용되며, 아크릴을 포함한 공중합체에도 사용됨
- ▶ 자동차 배기가스가 1,2-부타디엔의 일정한 공급원
- ▶ 그 외 공급원으로는 제조 및 처리 시설, 산불 또는 기타 연소, 담배 연기 등이 있음
- ▶ 더 높은 수준의 농도로 고도로 산업화된 도시나 정유소, 화학 제조 공장, 플라스틱 및 고무 공장 근처에서 발견될 수 있음
- ▶ 직업상 노출은 고무, 플라스틱 및 수지 산업에서 발생할 수 있음

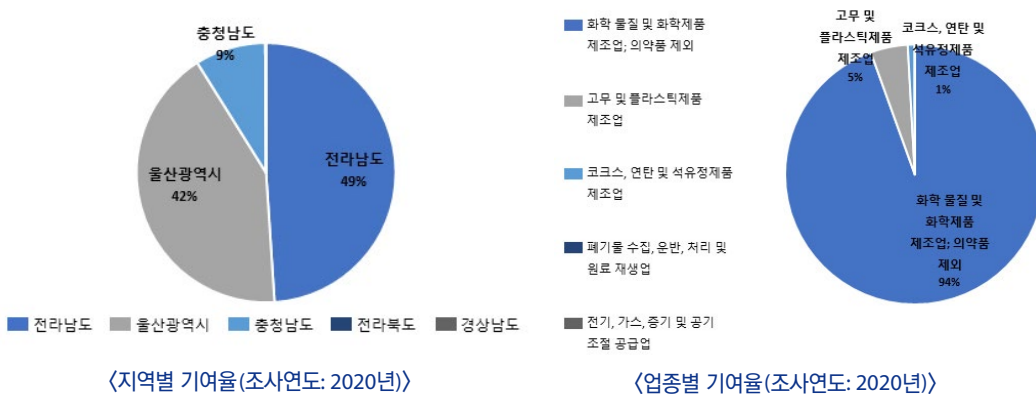
(4) 배출량 정보

- ▶ 대기 중에서 빠르게 분해되지만, 도시와 교외 지역의 주변 공기에서 낮은 수준으로 발견
- ▶ 1970년부터 1982년까지 도시 및 교외 지역의 주변 공기에서 평균 0.3ppb 수준으로 검출
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 1,3-부타디엔의 양은 52,983kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 1,3-부타디엔 배출량 변화〉



(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 1,3-부타디엔을 1급 발암물질(그룹 1)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서 벤지딘을 발암물질(그룹 A)로 분류
- ▶ 한 역학 연구는 흡입을 통한 1,3-부타디엔의 만성적인 노출이 류머티즘 및 동맥경화성 심장 질환과 같은 심혈관 질환의 증가를 초래했다고 보고하였음
- ▶ 다른 인간 연구는 혈액에 대한 영향을 보고
- ▶ 동물 연구는 만성 흡입 노출로 인한 호흡 및 심혈관계, 혈액 및 간에 영향을 보고
- ▶ 사람이 흡입함으로써 1,3-부타디엔 노출과 심혈관 질환 사이의 가능한 연관성을 보고함

- ▶ 고무 공장 근로자에 대한 대규모 역학 연구는 노출과 백혈병 발병률 증가 사이의 연관성을 보여줌
- ▶ 동물 연구는 노출로 인한 다양한 부위의 종양을 보고함
- ▶ 1,3-부타디엔은 실험 동물과 인간에 의해 유전독성 대사물로 대사
- ▶ 동물 실험을 통해 관찰된 영향은 신경 기능 장애, 생식 및 발달 영향, 혈액학적 영향, 림프구 영향, 신장 영향이 포함됨
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 2ppm, STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 10ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 1ppm (2.21mg/m³), STEL 5ppm (11mg/m³)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 2ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 2000ppm
- ▶ RfC for Inhalation Exposure: 2×10^{-3} per mg/m³
- ▶ Inhalation Unit Risk: 3×10^{-5} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Hematologic, Leukemia (Health Canada, 1998; U.S. EPA, 2002)

System	RfC (mg/m ³)	Basis	PoD	Composite UF
Reproductive	2×10^{-3}	Ovarian atrophy	BMCL 10 (HEC): 1.98mg/m ³	1000

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, 1,3-Butadiene, 2009
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2020
- Health Canada, 1998; U.S. EPA, 2002

53. 다환 방향족 탄화수소류 (Polynuclear aromatic hydrocarbon)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

- Benzo[a]pyrene

분자식	C ₂₀ -H ₁₂	분자량	252.3
끓는점	310~312°C at 10mmHg	녹는점	179°C
증기압	5.49 × 10 ⁻⁹ mmHg at 25°C	log Kow	6.13
대기반감기	-	PBT 여부	○

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
피부 민감성	1 (경고)	H317	알레르기성 피부반응을 일으킬 수 있음
생식세포 변이원성	1B (위험)	H340	유전적 결함을 일으킬 수 있음
발암성	1B (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음
생식독성	1B (위험)	H360	태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 수 있음 (섬유이형성증)
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성 만성	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

- Naphthalene

분자식	C ₁₀ -H ₈	분자량	128.17
끓는점	217.9°C	녹는점	80.2°C
증기압	0.085mmHg at 25°C	log Kow	3.30
대기반감기	12hr	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성독성-경구	4 (경고)	H302	삼키면 유해함
발암성	2 (경고)	H351	암을 일으킬 것으로 의심됨 (호흡)
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성 만성	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

- Benzo[a]pyrene

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	0.05mg/Sm ³ 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

- Naphthalene

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	-
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2022-12-07	유독물질: 국립환경과학원고시 제2022-80호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 대부분의 PAHs는 연구 수행에 사용되며, 일부 PAHs는 염료, 플라스틱, 살충제를 만드는 데 사용되고 있음
- ▶ 환경 어디에나 존재하며 대기 중 대부분의 PAHs는 인공 공정의 결과임
- ▶ 콜타르, 코크스 또는 아스팔트를 생산하거나 사용하는 산업에서 발견되며, 석탄 가스화 공장, 훈제실, 도시 소각로 및 일부 알루미늄 생산 시설에서 배출
- ▶ 고기와 음식을 높은 온도로 요리할 때도 PAHs가 형성
- ▶ 나프탈렌은 다른 화학물질과 촉약을 만들기 위해 상업적으로 생산되며, 담배 연기에 많은 PAHs가 함유되어 있음
- ▶ 자동차 배기 가스, 담배 연기, 나무 연기 또는 아스팔트 도로의 매연으로 오염된 공기를 호흡하는 경우가 노출이 발생하는 가장 일반적인 방법

(4) 배출량 정보

- ▶ 공기 중 일부 대표적인 PAHs의 배경 수준은 농촌 지역에서 0.02~1.2ng/m³이고, 도시 지역에서는 0.15~19.3ng/m³인 것으로 보고되었음(Zmirou *et al.*, 2000)
- ▶ 공기 중의 PAHs 농도는 5 미만에서 200,000ng/m³까지 다양할 수 있음(Cherng *et al.*, 1996; Georgiadis and Kyrtopoulos, 1999)
- ▶ 여과되지 않은 담배 한 갑을 하루에 흡연하면 하루에 0.7μg의 벤조(a)피렌에 노출되며, 여과

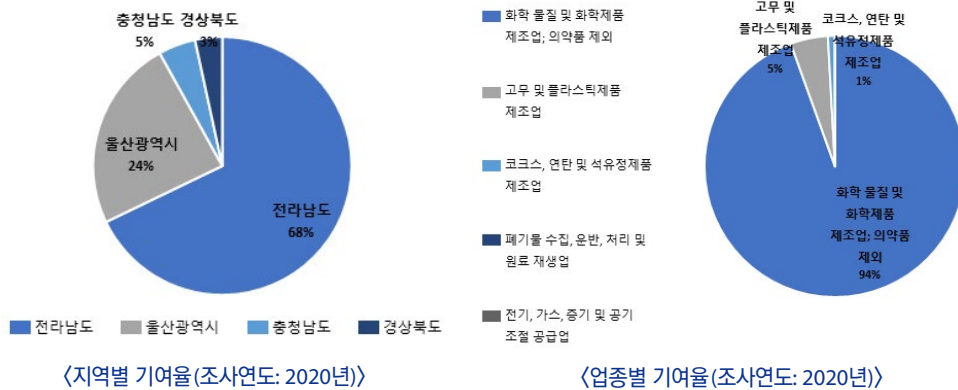
된 담배 한 갑을 하루에 흡연하면 하루에 0.4 μ g이 생성(Sullivan and Krieger 2001)

- ▶ 2020년 국내에서 배출된 나프탈렌의 양은 11,450kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 나프탈렌 배출량 변화〉



(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 벤조(a)피렌을 1급 발암물질(그룹 1)로 분류하였으며, 나프탈렌은 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질(그룹 2B)로 분류
- ▶ benz[a]anthracene, benzo[a]pyrene, benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, chrysene, dibenz[a,h]anthracene, indeno [1,2,3-c,d]pyrene을 포함한 몇몇 PAHs는 실험실 동물들이 이러한 물질들을 공기로 들이마셨을 때 종양을 유발하였음
- ▶ 임신 중에 높은 벤조(a)피렌을 먹은 쥐는 번식에 어려움을 겪었고 자손도 마찬가지로
- ▶ 벤조(a)피렌을 먹인 임신한 쥐의 자손들은 선천적 결함과 체중 감소와 같은 다른 해로운 영향을 보여주었음
- ▶ 마우스 실험을 수행하던 연구자가 3주 동안 벤조(a)피렌에 노출되어 편평상피종이 진단되었음(IARC, 1973)

- ▶ 나프탈렌 증기를 흡입하면 두통, 식욕 감퇴, 메스꺼움이 나타날 수 있으며, 시신경염, 각막 손상, 신장 손상에 대한 증상도 보고되었음(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2001)
- ▶ 나프탈렌 증기는 눈과 점막에 자극을 주며 반복적인 노출은 각막 궤양과 백내장을 일으킴(Dart, R.C., 2004)
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 10ppm, STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 15ppm(나프탈렌)
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 0.2mg/m³ (Coal tar pitch volatiles (benzene soluble fraction)_벤조(a)피렌)/ 8시간 TWA 10ppm (50mg/m³)(나프탈렌)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 모든 경로에 의한 노출은 가능한 한 낮은 수준으로 조심스럽게 제어해야 한다. (벤조(a)피렌)/ 8시간 TWA 10ppm (52mg/m³)(나프탈렌)
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 최대 10시간 TWA 0.1mg/m³ (Coal tar pitch volatiles (cyclohexane extractable fraction)), IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 80mg/m³ (벤조(a)피렌)/ 최대 10시간 TWA 10ppm (50mg/m³), STEL 15ppm (75mg/m³), IDLH 250ppm
- ▶ RfC for Inhalation Exposure (벤조(a)피렌): 2×10^{-6} per mg/m³
- ▶ Inhalation Unit Risk (벤조(a)피렌): 6×10^{-4} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Respiratory, Gastrointestinal, Squamous cell neoplasia in the larynx, pharynx, trachea, nasal cavity, esophagus, and forestomach. (Thyssen *et al.*, 1981)
- ▶ RfC for Inhalation Exposure (나프탈렌): 3×10^{-3} per mg/m³

-Benzo[a]pyrene

System	RfC (mg/m ³)	Basis	PoD	Composite UF
Developmental	2×10^{-6}	Decreased embryo/fetal survival	LOAEL: 4.6×10^{-3} mg/m ³	3000

-Naphthalene

System	RfC (mg/m ³)	Basis	PoD	Composite UF
Nervous, Respiratory	3×10^{-3}	Nasal effects: hyperplasia and metaplasia in respiratory and olfactory epithelium, respectively	LOAEL (HEC): 9.3mg/m ³	3000

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, Toxicological Review of Benzo[a]pyrene, 2017
- EPA, Naphthalene, 2000
- Zmirou *et al.*, 2000
- Cherng *et al.*, 1996; Georgiadis and Kyrtopoulos, 1999
- Sullivan and Krieger, 2001
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- IARC, 1973
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2001
- Dart, R.C., 2004
- OSHA, 2021
- Thyssen *et al.*, 1981
- IRIS

54. 에틸렌옥사이드 (Ethylene oxide)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₂ H ₄ O	분자량	44.05
끓는점	10.7°C	녹는점	-111°C
증기압	1,456hPa at 20°C	log Kow	-0.30
대기반감기	1개월~1년	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 가스	1 (위험)	H220	극인화성 가스
고압가스	2 (경고)	H280	고압가스 포함; 가열하면 폭발할 수 있음
급성독성-경구	3 (위험)	H301	삼키면 유독함
급성독성-흡입	3 (위험)	H331	흡입하면 유독함
피부 부식성/자극성	1 (위험)	H314	피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴
생식세포 변이원성	1B (위험)	H340	유전적인 결함을 일으킬 수 있음
발암성	1 (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음
생식독성	1B (위험)	H360	태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 수 있음 (다산과 발달)
특정 표적장기 독성-1회 노출	3 (경고)	H335	호흡기 자극을 일으킬 수 있음 (기도)
특정 표적장기 독성-반복 노출	1 (위험)	H372	장기간 또는 반복 노출되면 장기 (신경계)에 손상을 일으킴

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	3ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 과일 성장 촉진제, 제균제, 의료기기 살균제 등으로 사용되고 있음
- ▶ 주요 용도는 에틸렌 글리콜의 제조 과정에서 화학적 중간생성물로 사용되는 것
- ▶ 병원이나 멸균 시설에서 의료 장비와 공급품을 멸균하고 식품을 멸균하며 일부 저장 농산물의 곤충을 제어하는 데 사용

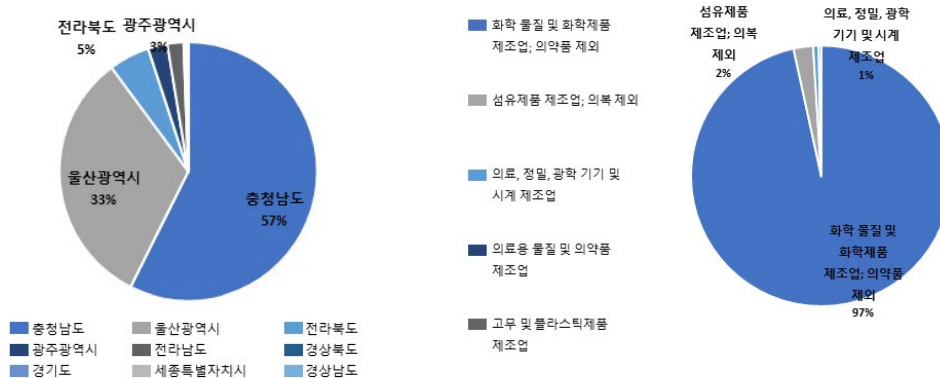
- ▶ 에틸렌의 분해 과정에서 체내에서 자연적으로 형성(장에서 자연적으로 발생하는 박테리아에 의해 형성)
- ▶ 담배를 태울 때 소량으로 생성되기도 하며, 아주 적은 양의 에틸렌옥사이드가 자연에서 발견될 수 있음
- ▶ 대기배출원으로는 제어되지 않은 배출 또는 산업 환경에서 다른 가스로 배출하는 것이 포함
- ▶ 일반인은 오염된 공기를 호흡하거나 담배를 피우거나 담배를 피우는 사람 근처에서 노출될 수 있으며, 특정 직업군(에틸렌옥사이드 제조 또는 가공공장 종사자, 멸균 기술자, 훈증소독 종사자 등)은 작업장 내에서 노출될 수 있음

(4) 배출량 정보

- ▶ 2021년 미국의 굴뚝을 통한 배출량은 106,298 파운드, 탈루성 배출량은 49,200 파운드 수준임
- ▶ 미국에서 2012년부터 2021년까지 에틸렌옥사이드의 대기 배출은 142,000파운드(-48%) 감소하였음
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 에틸렌옥사이드의 양은 17,653kg 정도로 보고되었음
(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 에틸렌옥사이드 배출량 변화〉



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉

〈업종별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 에틸렌옥사이드를 1급 발암물질(그룹 1)로 분류
- ▶ 급성 영향은 주로 중추신경계 우울증과 눈과 점막의 자극으로 구성
- ▶ 만성 노출시 눈, 피부, 코, 목, 폐에 자극을 줄 수 있으며, 뇌와 신경계에 손상을 줄 수 있음
- ▶ 작업자가 높은 수준의 에틸렌옥사이드에 급성 흡입에 노출되면 메스꺼움, 구토, 신경장애, 기관지염, 폐부종 및 폐기종이 발생
- ▶ 흡입 노출이 여성 근로자의 유산 비율을 증가시킬 수 있음을 나타내는 일부 증거가 존재
- ▶ 동물의 흡입 노출 연구에서 이식 부위의 수 감소, 고환 무게 감소 및 정자 농도 감소와 고환 변성 등의 생식 영향이 관찰
- ▶ 인간을 대상으로 한 직업 연구에서 여성 근로자의 림프암과 유방암 발병 사례가 증가한 것으로 나타남
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간 가중평균노출기준) 1ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 1ppm(일반 산업, 조선소 및 건설), 5ppm(일반 산업, 조선소 및 건설에 대한 이동 제한시간 15분)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 1ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 최대 10시간 TWA <0.1ppm (<0.18mg/m³), ceiling limit 10분/일 5ppm (9mg/m³)
- ▶ Inhalation Unit Risk: 3×10^{-3} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Immune, Reproductive, Lymphoid cancer, (female) breast cancer (Steenland *et al.*, 2003, 2004)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, Ethylene oxide, 2018
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2020
- Steenland *et al.*, 2003, 2004

55. 디클로로메탄 (Dichloromethane)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	CH ₂ Cl ₂	분자량	84.93
끓는점	40°C	녹는점	-95°C
증기압	58,400Pa at 25°C	log Kow	1.25 at 20°C
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
피부 부식성/자극성	2 (경고)	H315	피부에 자극을 일으킴
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
생식세포 변이원성	2 (경고)	H341	유전적인 결함을 일으킬 것으로 의심됨
발암성	1 (1B) (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음 (흡입)
특정 표적장기 독성-1회 노출	3 (경고)	H336	졸음 또는 현기증을 일으킬 수 있음 (중추신경계)
특정 표적장기 독성-반복 노출	2 (경고)	H373	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킬 수 있음

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	25ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

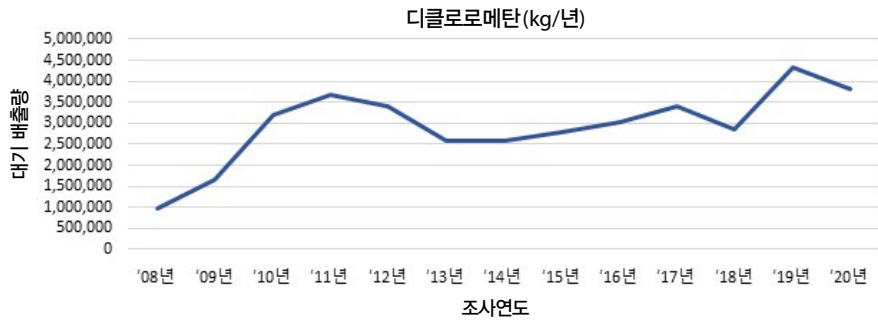
- ▶ 주로 용매로 사용되며, 세정 및 세척제, 중간제, 실험실용 물질 등으로 사용되고 있음
- ▶ 페인트 스트리퍼 및 제거제, 의약품 및 필름 코팅 제조의 공정 용매, 전자 제조의 금속 세척 및 마감 용매, 우레탄 폼-블로잉의 재료로 사용
- ▶ 페인트, 자동차 제품, 곤충 스프레이 등의 제품 에어로졸에서 추진제로 사용
- ▶ 향신료 올레오레진, 흡, 커피에서 카페인 제거를 위한 추출 용매로 사용
- ▶ 곡물 및 딸기의 수확 후 훈증제 및 감귤류 과일의 녹화제로도 사용 승인 되었음

- ▶ 실내 공기 중 디클로로메탄에 대한 직업상 및 소비자 노출은 특히 스프레이 페인트 또는 기타 에어로졸 사용으로 인해 훨씬 더 높을 수 있음
- ▶ 생산된 디클로로메탄의 80% 이상이 사용 후 대기 중으로 배출

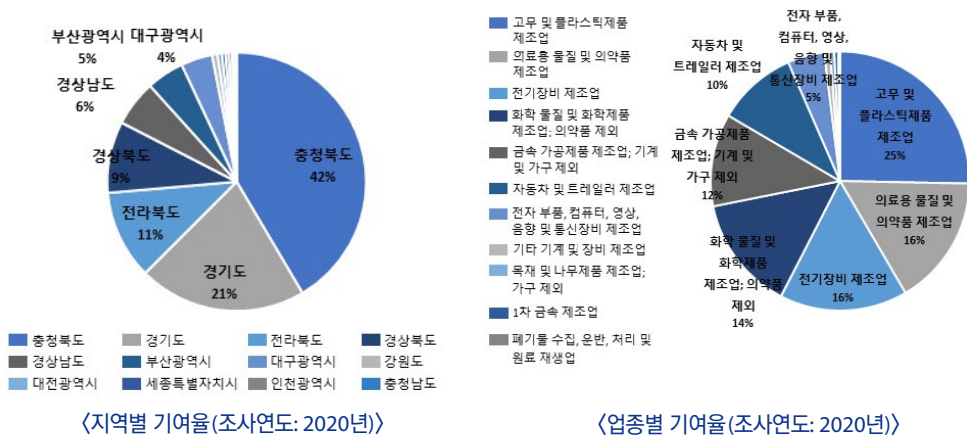
(4) 배출량 정보

- ▶ 1980년 전 세계 생산량은 570,000톤으로 추정되며, 이 중 270,000톤은 서유럽에서 생산
- ▶ 1991~1992년 캐나다 전역의 22개 지점에서 관측된 평균 대기 수준은 0.5~9.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준
- ▶ 뉴저지의 위험 폐기물 현장에서 측정된 산술평균은 0.35~5.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준
- ▶ 캐나다 전역의 757가구의 실내 공기의 평균 농도는 16.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 토론토의 소규모 조사에서는 평균 9.1~26.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었음(WHO, 2000)
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 디클로로메탄의 양은 3,800,363kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



<연도별 대기 중 디클로로메탄 배출량 변화>



(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 디클로로메탄을 실험동물에 대한 발암성 근거는 충분하지만 사람에게 대한 근거는 제한적인 발암성 예측/추정 물질(그룹 2A)로 분류
- ▶ 사람에서 디클로로메탄 흡입의 급성 영향은 주로 시각, 청각 및 운동 기능의 감소를 포함한 신경계 효과로 구성되지만, 이러한 효과는 노출이 중단되면 가역적임
- ▶ 사람에서 디클로로메탄 만성 흡입 노출의 주요 영향은 두통, 현기증, 메스꺼움 및 기억 상실과 같은 중추신경계에 대한 영향
- ▶ 동물 연구에 따르면 디클로로메탄을 흡입한 후 간, 폐암 및 양성 유선 종양이 증가하는 것으로 나타남
- ▶ 페인트 박리 작업 중 디클로로메탄 중독에 대한 사례 연구는 극도로 높은 수준에 대한 흡입 노출이 인간에게 치명적일 수 있다는 것을 입증
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 50ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 25ppm, STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 125ppm
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 50ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 2300ppm
- ▶ Inhalation Unit Risk: 1×10^{-8} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Hepatic · Respiratory, Hepatocellular carcinomas or adenomas, bronchoalveolar carcinomas or adenomas (Mennear *et al.*, 1988; NTP, 1986)
- ▶ RfC for Inhalation Exposure: 6×10^{-1} per mg/m^3

System	RfC (mg/m^3)	Basis	PoD	Composite UF
Hepatic	6×10^{-1}	Hepatic effects (hepatic vacuolation)	BMDL 10 (HEC): $17.2\text{mg}/\text{m}^3$	30

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, Methylene Chloride (Dichloromethane), 2000
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2023
- Mennear *et al.*, 1988; NTP, 1986
- IRIS

56. 테트라클로로에틸렌 (Tetrachloroethane)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₂ H ₂ Cl ₄	분자량	167.85
끓는점	146°C	녹는점	-44°C
증기압	5.74mmHg at 25°C	log Kow	2.39
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
급성독성-경피	1 (위험)	H310	피부 접촉 시 치명적임
급성독성-흡입	2 (위험)	H330	흡입 시 치명적임
수생환경 유해성 만성	2	H411	장기적 영향에 의해 수생생물에 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	25ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 주로 드라이클리닝 용제 및 금속세척제, 식물산업의 마무리 공정에서 사용
- ▶ 추출용제, 열교환용매, 곡물훈증제 등 다양하게 사용되고, 불화수소의 제조에도 사용
- ▶ 과거에는 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌 및 1,2-디클로로에틸렌을 제조하기 위해 다량으로 사용되었음
- ▶ 도료 제거제에서 금속을 세척 및 탈지할 때 용매로도 사용되었으며, 사진 필름, 유지 추출물 및 살충제의 바니쉬로도 사용되었음
- ▶ 현재 트리클로로에틸렌의 공급원은 부산물로서 생성될 때 및 중간 산물인 화학 생산 활동 중에 방출
- ▶ 소량의 접착제, 오일 그리스 및 윤활유에서 발견되었으며, 이러한 가정용 제품은 실내 공기를 오염시킬 수 있음
- ▶ 직업상 노출은 증기 흡입이나 작업장에서의 유출 등을 통해 발생

(4) 배출량 정보

- ▶ 최종 산물로서의 테트라클로로에틸렌의 생산은 미국에서 크게 감소하였음
- ▶ 전 세계적으로 약 팔십만톤 이상 배출되었음
- ▶ 낮은 수준의 테트라클로로에틸렌은 실내 및 실외 공기에 모두 존재할 수 있으며, 1980년대 초 주변 공기의 평균 농도는 약 0.005ppb였고, 몇몇 가정의 실내 공기 평균 농도는 1.8ppb로 추정되었음

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 테트라클로로에틸렌을 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질(그룹 2B)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서 테트라클로로에틸렌을 인간 발암 가능 물질(그룹 C)로 분류
- ▶ 테트라클로로에틸렌의 주요 영향은 간 및 신경학적 영향임
- ▶ 매우 높은 수준의 테트라클로로에틸렌에 급성 흡입 노출될 때 인간의 간 및 호흡기, 중추 신경 및 위장 시스템에 영향을 미쳤음
- ▶ 호흡 및 눈 자극, 어지러움, 메스꺼움 및 구토는 직장에서 높은 수준의 가스에 노출된 사람에게서 발견되었음
- ▶ 동물 연구에 따르면 급성 흡입으로 인한 간, 눈, 중추신경계에 미치는 영향이 보고
- ▶ 사람에서 만성 흡입 노출은 간(황달 및 비대한 간), 중추 및 말초 신경계(두통, 떨림, 현기증, 졸음), 위장 효과(통증, 메스꺼움, 구토, 식욕 상실)가 나타났음
- ▶ 동물 연구에 따르면 테트라클로로에틸렌에 경구 노출된 생쥐에서 간종양 발생률이 크게 증가함
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 1ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 5ppm (35mg/m³)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 1ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 최대 10시간 TWA 1ppm (7mg/m³), IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도)100ppm

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, 1,1,2,2-Tetrachloroethane, 2000
- 에어코리아 대기환경 연보, 2021
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2022

57. 1,2-디클로로에탄 (1,2-Dichloroethane)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₂ H ₄ Cl ₂	분자량	98.96
끓는점	83.5°C	녹는점	-35.3°C
증기압	78.9mmHg at 25°C	log Kow	1.48
대기반감기	29일	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	2 (위험)	H225	고인화성 액체 및 증기
급성독성-경구	4 (경고)	H302	삼키면 유해함
피부 부식성/자극성	2 (경고)	H315	피부에 자극을 일으킴
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
발암성	1 (1B) (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음
특정 표적장기 독성-1회 노출	3 (경고)	H335	호흡기 자극을 일으킬 수 있음 (폐)

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	12ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2018-03-30	유독물질: 국립환경과학원고시 제2018-9호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-

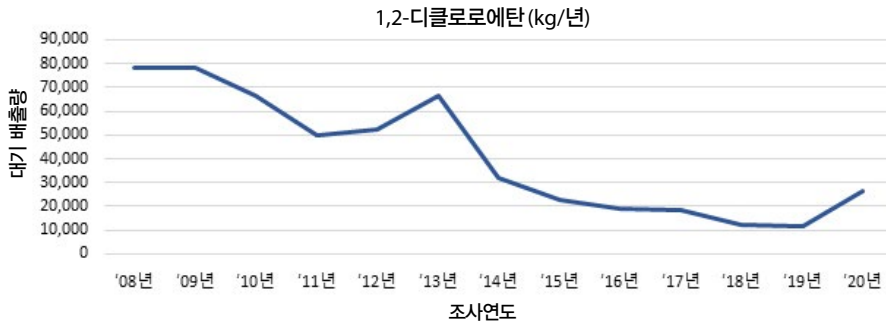
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 주로 염화 비닐과 다른 화학물질 생산, 유기 합성에서 다양한 추출 및 세척 목적으로 폐쇄 시스템의 용매에 사용되고 있음
- ▶ 지질, 합성수지, 고무 용매, 가죽 세탁, 고무, 직물과 금속 세척, 의약품 가공 용매, 수지와 고무 접착제에 쓰여지고 있음
- ▶ 납 휘발유에 납 제거제로 첨가되고, 고무 및 플라스틱의 분산제로도 사용
- ▶ 이전에는 광석 부유, 곡물 훈증제, 금속 탈지제, 직물 및 PVC 세척에 사용되었음
- ▶ 자연적인 발생원은 없으며 산소와 염산, 또는 염소와의 반응을 거쳐 생산
- ▶ 일반적으로 주위 또는 작업장 공기에서 1,2-디클로로에탄을 흡입하는 것이 주요 노출 경로

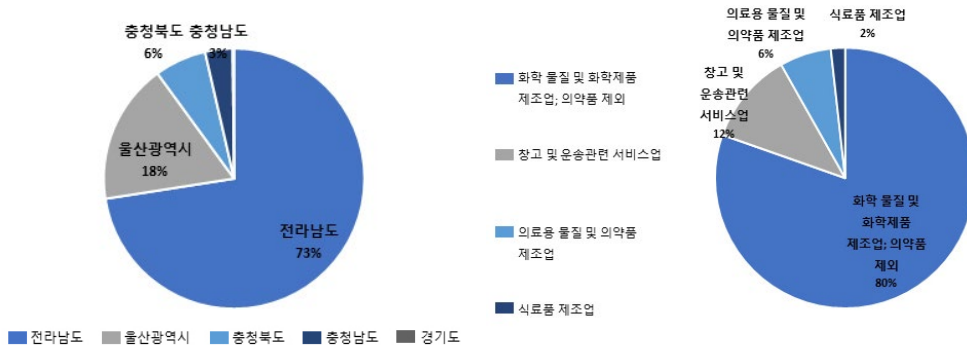
- ▶ 에틸렌디클로라이드-타르의 부적절한 폐기, 염화비닐의 과도한 사용 등을 통해 직접 대기 중으로 배출되거나 취급, 저장 중에서 배출
- ▶ 다른 휘발성 유기물질과는 달리 상대적으로 일반적이지 않은 물질
- ▶ 주로 공기를 통하여 노출되며, 대기 중 노출 기여도(RSC)는 80%

(4) 배출량 정보

- ▶ 1980~1981년 도시 7곳의 공기 중 1,2-디클로로에탄의 평균 수준은 0.1~1.5ppb 수준이었음
 - ▶ 미국의 바탕농도는 0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 네덜란드도 유사함
 - ▶ 2020년 국내에서 배출된 1,2-디클로로에탄의 양은 26,550kg 정도로 보고되었음
- (자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 1,2-디클로로에탄 배출량 변화〉



〈지역별 기여율(조사연도: 2020년)〉

〈업종별 기여율(조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 1,2-디클로로에탄을 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질 (그룹 2B)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서도 1,2-디클로로에탄을 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는

물질(그룹 2B)로 분류

- ▶ 농축된 1,2-디클로로에탄 증기를 흡입하면 사람의 신경계, 간, 신장은 물론 호흡곤란, 심부정맥, 메스꺼움, 구토 등에 영향을 줄 수 있음
- ▶ 심장 부정맥, 폐 부종, 기관지염, 출혈성 위염, 대장염, 우울증 그리고 뇌 조직의 변화가 보고된 바 있음
- ▶ 만성적인 흡입 노출은 동물의 간과 신장에 영향을 주었음
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 10ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 50ppm (200mg/m³)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 10ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 최대 10시간 TWA 1ppm (4mg/m³), STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 2ppm (8mg/m³), IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 50ppm
- ▶ Inhalation Unit Risk: 2.6×10^{-5} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Other (Tumor site), Hemangiosarcomas (NCI, 1978)
- ▶ DNEL (Derived-No-Effect-Levels, 무영향도출수준)-흡입: 2.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (인체) (ECHA)
- ▶ 급성독성 - 흡입: 7758mg/kg bw (LC₅₀ (Lethal dose for 50 percent kill), rats-albino, 4 hour) (Groupe d'Experts Toxicologues du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire., Anonymous, 2008)
- ▶ 급성독성 - 흡입: > 2520ppm (LC₅₀ (Lethal dose for 50 percent kill), rats male, 4 hour) (ECHA, 2017)
- ▶ 급성독성- 흡입: < 2520ppm (LC₅₀, rats female, 4 hour) (ECHA, 2017)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, Ethylene Dichloride (1,2-Dichloroethane), 2000
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2022
- NCI, 1978
- Groupe d'Experts Toxicologues du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire., Anonymous, 2008
- ECHA, 2017

58. 에틸벤젠 (Ethylbenzene)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₈ H ₁₀ 또는 C ₆ H ₅ C ₂ H ₅	분자량	106.165
끓는점	136.2°C	녹는점	-94.95°C
증기압	9.6mmHg at 25°C	log Kow	3.15
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	2 (위험)	H225	고인화성 액체 및 증기
흡입 유해성	1 (위험)	H304	삼켜서 기도로 유입되면 치명적일 수 있음
급성독성-흡입	4 (경고)	H332	흡입 시 유해함
특성 표적 장기 독성-반복 노출	2 (경고)	H373	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킬 수 있음 (청각 기관)
수생환경 유해성 만성	3	H412	장기적 영향에 의해 수생생물에 유해함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	23ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

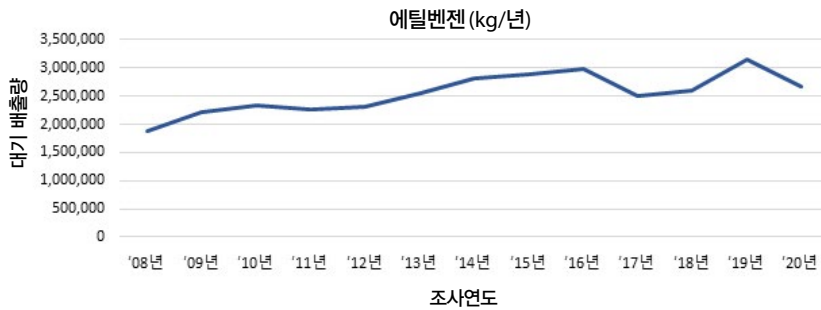
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 에틸벤젠은 주로 스티렌 생산 과정의 중간체로 사용
- ▶ 용매, 아스팔트, 나프타의 성분, 연료로도 사용되며, 자동차 및 항공 연료용 부품 및 수제 용제로도 사용되고 있음
- ▶ 에틸벤젠과 스티렌 제조공정 및 유기용제로 사용하는 과정에서 대기 중으로 방출, 폐기물의 누출이 있을 수 있음
- ▶ 석유 정제시, 휘발유의 사용으로 인한 휘발과 연소시 발생하는 배출가스, 주유소의 휘발유와 등유의 휘발 및 누출, 저유지에서의 보관 및 수송하는 동안 휘발 및 누출, 자동차 배기가스 그리고 담배 연기로 인해 대기 중으로 방출됨
- ▶ 소비자 제품, 휘발유, 살충제, 용제, 카펫 접착제, 바니쉬, 페인트, 담배 연기를 사용함으로써 노출될 수 있음

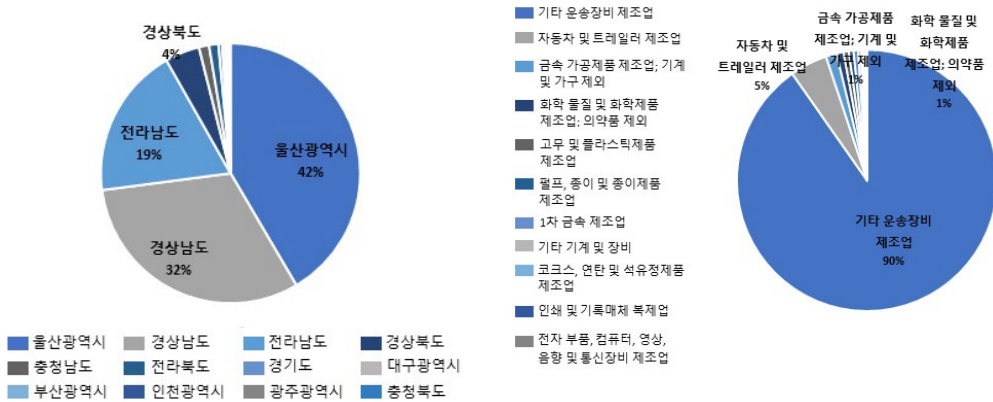
(4) 배출량 정보

- ▶ 도시 공기 중에서 0.62ppb 농도로 검출되었으며, 교외 지역의 공기 중 평균 농도는 약 0.62ppb인 반면 시골 지역의 공기 중 평균 농도는 약 0.13ppb
- ▶ 실내 공기에서 약 1ppb의 평균 농도로 검출되었음
- ▶ 실내 수준은 청소 제품이나 페인트와 같은 가정용 제품을 사용하기 때문에 주변 농도보다 높은 경향이 있음
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 에틸벤젠의 양은 2,665,585kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 에틸벤젠 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 에틸벤젠을 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질(그룹 2B)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서도 에틸벤젠을 인간 발암성에 대해 분류 불가능한(그룹 D)로 분류

- ▶ 사람이 에틸벤젠에 급성 흡입 노출되면 목의 자극 및 가슴 수축, 눈의 자극, 어지럼증과 같은 신경학적 영향이 관찰되었음
- ▶ 동물 연구는 급성 흡입 노출로 인한 중추신경계 독성, 폐 영향, 간·신장·눈에 대한 영향을 보고함
- ▶ 동물 연구에서는 에틸벤젠에 대한 만성적인 흡입 노출로 인해 혈액, 간, 신장에 미치는 영향이 보고되고 있음
- ▶ 미국 국립 독성 프로그램(NTP)의 연구에 따르면, 흡입에 의한 에틸벤젠에 노출되면 쥐의 신장 및 고환 종양, 쥐의 폐 및 간 종양 발생률이 증가
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 100ppm, STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 125ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 100ppm (435mg/m³)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 20ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 최대 10시간 TWA 100ppm (435mg/m³), STEL 125ppm (545mg/m³), IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 800ppm
- ▶ DNEL (Derived-No-Effect-Levels, 무영향도출수준)-흡입: 15mg/m³ (일반인, 장기간 노출, 인체, 전신)(ECHA)
- ▶ RfC for Inhalation Exposure: 1 per mg/m³

System	RfC (mg/m ³)	Basis	PoD	Composite UF
Developmental	1	Developmental toxicity	NOAEL (HEC): 4.34 × 10 ² mg/m ³	300

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, Ethylbenzene, 2000
- 화학물질 배출 · 이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2021
- ECHA
- IRIS

59. 트리클로로에틸렌 (Trichloroethylene)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₂ HCl ₃	분자량	131.388
끓는점	87.2°C	녹는점	-84.7°C
증기압	69mmHg at 25°C	log Kow	2.61
대기반감기	70시간	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
피부 부식성/자극성	2 (경고)	H315	피부에 자극을 일으킴
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
피부 과민성	1 (경고)	H317	알레르기성 피부 반응을 일으킬 수 있음
생식세포 변이원성	2 (경고)	H341	유전적인 결함을 일으킬 것으로 의심됨 (흡입)
발암성	1 (1A) (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음 (흡입)
특정 표적장기 독성-1회 노출	3 (경고)	H336	졸음 또는 현기증을 일으킬 수 있음 (흡입)
수생환경 유해성 만성	3	H412	장기적 영향에 의해 수생생물에 유해함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	23ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2021-06-22	유독물질: 국립환경과학원 고시 제2021-36호	-
2021-12-29	제한물질: 환경부 고시 제2021-295호	-
2015-07-01	등록대상기준화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

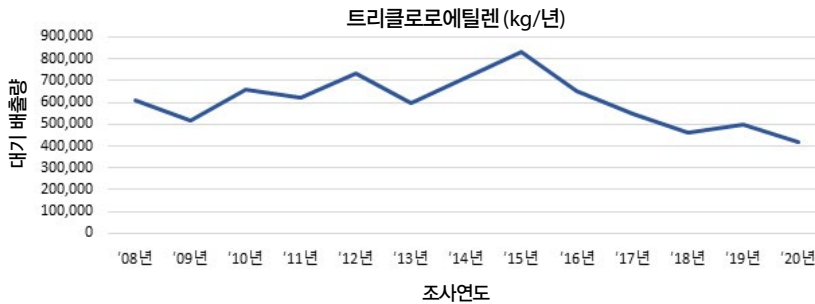
- ▶ 주요 용도는 금속 부품의 증기 탈지에 있음
- ▶ 그리스, 기름, 지방, 왁스. 타르의 추출 용매, 다른 화학물질의 생산에서 화학 중간생성물 그리고 냉매로 사용되고 있음
- ▶ 타자기 보정액, 페인트 제거제/스트리퍼, 접착제, 얼룩 제거제 및 러그 세척액과 같은 소비자 제품에 사용

- ▶ 과거에는 전신마취제로 사용되었음
- ▶ 미국에서 사용되는 트리클로로에틸렌의 대부분은 산업용 탈지 작업에서 대기 중으로 방출
- ▶ 트리클로로에틸렌을 제조하거나 사용하는 공장의 근로자들이 노출될 수 있으며, 이러한 공장 주변에서 공기를 호흡하는 사람도 노출될 수 있음
- ▶ 화학물질을 포함한 제품의 사용과 폐기물 처리장의 증발 및 침출에 의해 노출될 수 있음

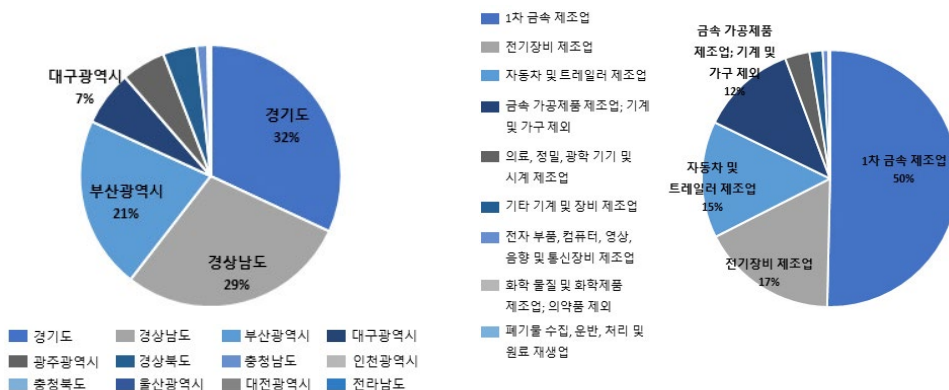
(4) 배출량 정보

- ▶ 주변 공기에서 1ppb 미만 수준으로 검출되었음
- ▶ 미국의 대기 측정 정보 검색 시스템에서 1985년부터 1995년까지 25개 주에서 1,200회 측정 한 결과, 0.01~3.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준의 농도로 조사됨
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 트리클로로에틸렌의 양은 420,565kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 트리클로로에틸렌 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 트리클로로에틸렌을 1급 발암물질(그룹 1)로 분류
- ▶ 급성 흡입 노출로 인한 주요 영향은 중추신경계 영향으로 졸음, 피로, 두통, 혼란, 행복감 등의 증상이 나타나며, 간, 신장, 위장, 피부에 대한 영향도 지적되었음
- ▶ 급성으로 노출된 동물에서 신경학, 폐, 신장 및 심장 영향이 나타났음
- ▶ 만성 직업 노출에 대한 사례 보고에서 어지럼증, 두통, 졸음, 메스꺼움, 혼란, 시야 흐림, 안면 마비 및 허약과 같은 영향이 있었음
- ▶ 만성적으로 노출된 동물에서 신경학적, 간, 신장 영향이 보고되었음
- ▶ 역학 연구의 최신 분석에 따르면 노출로 인해 신장, 간, 자궁 경부 및 림프계와 같은 인간의 여러 유형의 암과 관련이 있다고 보고
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 10ppm, STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 25ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 100ppm
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 10ppm, STEL 25ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 1000ppm
- ▶ Inhalation Unit Risk: 4.1×10^{-6} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Hematologic, Hepatic, Urinary, Renal cell carcinoma, non-Hodgkin's lymphoma, and liver tumors (Charbotel *et al.* 2006; EPA, 2011; Raaschou-Nielsen *et al.*, 2003)
- ▶ RfC for Inhalation Exposure: 2×10^{-3} per mg/m^3 (마우스의 흉선 무게 감소에 대해 $0.0019\text{mg}/\text{m}^3$ (Keil *et al.*, 2009), 랫드의 태아 심장 기형에 대해 $0.0021\text{mg}/\text{m}^3$ (Johnson *et al.*, 2003)의 두 유사 후보의 중간점으로 도출되었음)

System	RfC (mg/m^3)	Basis	PoD	Composite UF
Developmental, Immune	2×10^{-3}	-	-	-

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- ATSDR, ToxFAQs™ for Trichloroethylene (TCE), 2020
- EPA, Trichloroethylene, 2000
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2021
- Charbotel *et al.*, 2006; EPA, 2011; Raaschou-Nielsen *et al.*, 2003
- Keil *et al.*, 2009
- Johnson *et al.*, 2003

60. 아크릴로니트릴 (Acrylonitrile)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₃ H ₃ N	분자량	53.063
끓는점	77.2°C	녹는점	-83.51°C
증기압	109mmHg at 25°C	log Kow	0.25
대기반감기	9~32 시간	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	2 (위험)	H225	고인화성 액체 및 증기
급성독성-경구	3 (위험)	H301	삼키면 유독함
급성독성-경피	2 (위험)	H310	피부와 접촉하면 치명적임
급성독성-흡입	2 (위험)	H330	흡입하면 치명적임
피부 부식성/자극성	2 (경고)	H315	피부에 자극을 일으킴
심한 눈 손상/눈 자극성	1 (위험)	H318	눈에 심한 손상을 일으킴
피부 과민성	1 (경고)	H317	알레르기성 피부 반응을 일으킬 수 있음
발암성	1 (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음
특성 표적장기 독성-1회 노출	3 (경고)	H335	호흡기 자극을 일으킬 수 있음 (비강 상피 조직 또는 상부 호흡기) (호흡)
수생환경 유해성 만성	2	H411	장기적 영향에 의해 수생생물에 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	2ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2021-06-22	유독물질: 국립환경과학원 고시 제2021-36호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

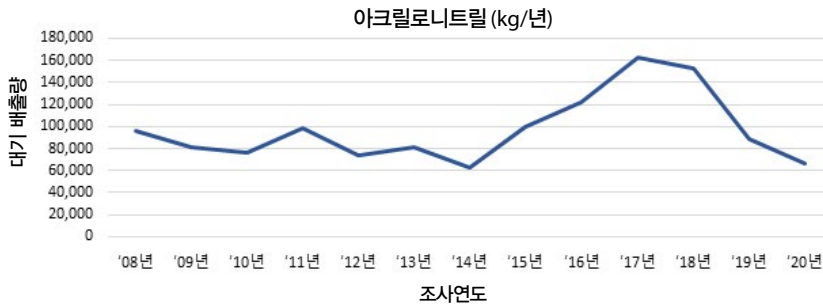
- ▶ 아크릴로니트릴은 주로 아크릴 및 모달 아크릴 섬유의 제조에 사용
- ▶ 아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌 (ABS) 수지의 제조 원료, 니트릴 고무와 탄소 섬유, 저장 곡식의 살충 훈증제로도 사용되고 있음
- ▶ 자연적인 발생원은 없으며 주로 직업적 흡입을 통해 노출되고 흡연이 실내오염원의 주요염원

- ▶ 제조, 사용, 저장, 운반 혹은 사고 등으로 환경 중에 배출될 수 있음

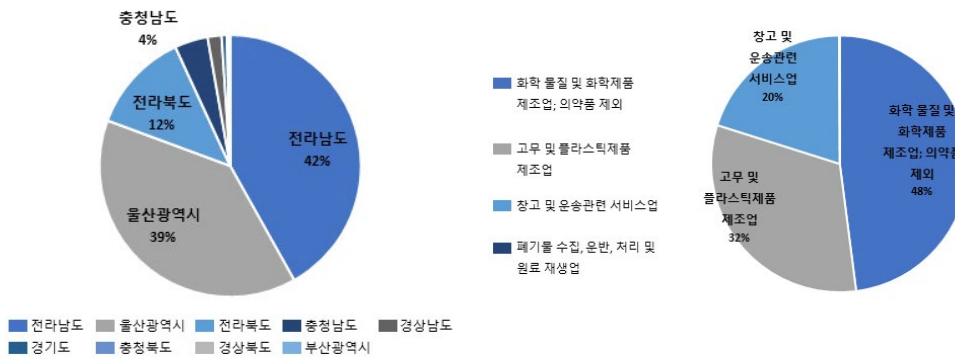
(4) 배출량 정보

- ▶ 아크릴로니트릴 생산량의 0.05%, 사용량의 0.2~0.5%가 대기로 배출될 것으로 산출되어짐
- ▶ 네덜란드에서는 대기 중 농도가 평균 0.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었음
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 아크릴로니트릴의 양은 66,273kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 아크릴로니트릴 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 아크릴로니트릴을 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질 (그룹 2B)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서 아크릴로니트릴을 인간에 대한 제한적 증거에 기초한 인간 발암 우려물질(그룹 B1)로 분류
- ▶ 1시간 미만 동안 높은 수준에 노출된 근로자들은 점막 자극, 두통, 어지럼증, 메스꺼움, 불안감 및 신경 과민성을 경험

- ▶ 아크릴로니트릴 중독과 관련된 증상으로는 사지 약화, 호흡곤란, 어지러움, 판단력 저하, 청색증, 메스꺼움, 쓰러짐, 경련 등이 있음
- ▶ 한 어린이가 숨을 들이마시기 전 아크릴로니트릴에 노출된 뒤 호흡기 이상, 림시아노시스, 빈맥 등을 앓다가 사망하였으며, 같은 농도에 노출된 몇몇 성인들은 눈에 자극을 보였으나 독성 영향은 없었음
- ▶ 한 연구에서는 만성적으로 노출된 근로자에서 두통, 피로, 메스꺼움, 허약함이 자주 보고되었음
- ▶ 흡입에 의해 만성적으로 노출된 랫드에서는 비강의 호흡기 상피의 퇴행성 및 염증성 변화와 뇌세포에 대한 영향이 관찰되었음
- ▶ 만성적으로 노출된 근로자를 대상으로 한 여러 연구에서 통계적으로 유의한 폐암 발병률 증가가 보고되었으나 일부는 노출 정보 부족, 짧은 추적, 교란 요인과 같은 결함을 포함하고 있음
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 2ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 2ppm, 15분 ceiling limit 10ppm
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 2ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 최대 10시간 TWA 1ppm, 15분 ceiling limit 10ppm
- ▶ Inhalation Unit Risk: 6.8×10^{-5} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Respiratory, Respiratory cancer (O'Berg, 1980)
- ▶ RfC for Inhalation Exposure: 2×10^{-3} per mg/m^3

System	RfC (mg/m^3)	Basis	PoD	Composite UF
Respiratory	2×10^{-3}	Degeneration and inflammation of nasal respiratory epithelium; hyperplasia of mucous secreting cells	LOAEL (HEC): $1.9\text{mg}/\text{m}^3$	1000

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, Acrylonitrile, 2000
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2020
- O'Berg, 1980
- IRIS

61. 히드라진 (Hydrazine)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	N ₂ H ₄	분자량	32.05
끓는점	113.5°C at 760mmHg	녹는점	2.0°C
증기압	14.4mmHg at 25°C	log Kow	-2.07
대기반감기	몇 분~몇 시간	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	3 (경고)	H226	인화성 액체 및 증기
급성독성-경구	3 (위험)	H301	삼키면 유독함
급성독성-경피	2 (위험)	H310	피부와 접촉하면 치명적임
급성독성-흡입	2 (위험)	H330	흡입하면 치명적임
피부 부식성/자극성	1 (위험)	H314	피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴
피부 과민성	1 (경고)	H317	알레르기성 피부 반응을 일으킬 수 있음
발암성	1B (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성 만성	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	15ppm 이하
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2021-06-22	유독물질: 국립환경과학원 고시 제2021-36호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 히드라진은 농약, 화학 송풍제, 약학 중간체, 사진 화학, 부식 방지를 위한 보일러 수처리, 식물 염료, 로켓과 우주선의 연료로 사용
- ▶ 작업장에서 직업적으로 노출될 수 있음
- ▶ 보관, 취급, 운반 및 폐기물의 부적절한 처리 중 물, 공기, 토양으로 우발적으로 배출될 수 있으나 환경에서 빠르게 분해되고 거의 발견되지 않음

- ▶ 담배 연기에서도 소량의 히드라진이 검출되었음

(4) 배출량 정보

- ▶ 1960년대 중반부터 1980년대 중반까지 미국에서 생산된 히드라진은 연간 1500만~3800만 파운드인 것으로 보고되었음
- ▶ 2004년 국내에서 배출된 히드라진의 양은 215kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 히드라진 배출량 변화〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 히드라진을 실험동물에 대한 발암성 근거는 충분하지만 사람에게 대한 근거는 제한적인 발암성 예측/추정 물질(그룹 2A)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서 히드라진을 동물에 대한 충분한 증거에 기초한 인간 발암 우려 물질(그룹 B2)로 분류
- ▶ 급성으로 노출되는 증상으로는 눈, 코, 목의 자극, 일시적인 실명, 현기증, 두통, 메스꺼움, 폐부종, 발작, 혼수상태 등이 있으며, 사람의 간, 신장, 중추신경계를 손상시킬 수 있음
- ▶ 흡입에 의해 히드라진에 만성적으로 노출된 동물에서 호흡기, 간, 비장 및 갑상선에 대한 영향이 관찰되었음
- ▶ 흡입으로 노출된 랫드와 햄스터에서 비강 내 종양이 관찰되었음
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간 가중평균노출기준) 0.05ppm
- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 1ppm (1.3mg/m³)
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 0.01ppm

- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 120분 ceiling limit 0.03ppm (0.04mg/m³)
- ▶ Inhalation Unit Risk: 4.9×10^{-3} per $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Respiratory, Nasal cavity adenoma or adenocarcinoma (MacEwen *et al.*, 1981)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- 대기오염물질의 배출허용기준, 대기환경보전법 시행규칙
- EPA, Hydrazine, 2000
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2021
- MacEwen *et al.*, 1981

62. 아세트산비닐 (Vinyl acetate)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₄ H ₆ O ₂	분자량	86.09
끓는점	72.8°C	녹는점	-93.2°C
증기압	90.2mmHg at 20°C (외삽시)	log Kow	0.73
대기반감기	4.1~6.5 시간	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	2 (위험)	H225	고인화성 액체 및 증기
급성독성-흡입	4 (경고)	H332	흡입 시 유해함
특정표적 장기독성-1회 노출	3 (경고)	H335	호흡계 자극을 일으킬 수 있음 (호흡기) (호흡)
발암성	2 (경고)	H351	암을 일으킬 것으로 의심됨

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	-
2014-12-30	기준화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

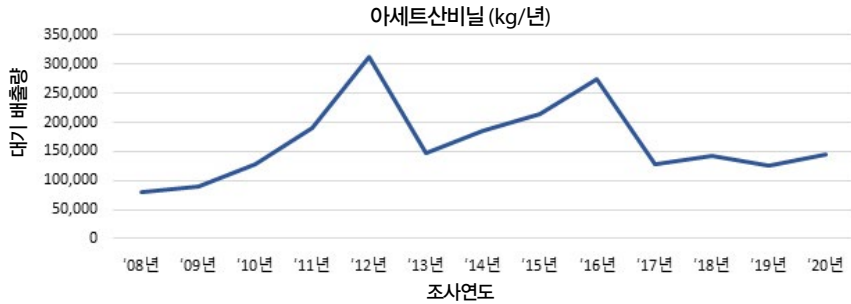
- ▶ 주로 폴리비닐아세테이트와 폴리비닐알코올의 생산에 단량체로 사용
- ▶ 접착제, 수성페인트, 부직포 섬유, 직물 크기 및 마감재, 종이 코팅, 잉크, 필름 및 래커와 같은 다른 화학 물질의 생산에 원료로 사용
- ▶ 안전유리 중간층, 헤어스프레이, 접착제, 도료로 사용되고 있음
- ▶ 노출은 작업장에서 발생할 가능성이 가장 높으며, 작업장에서는 제조 또는 사용 중 흡입 또는 피부 접촉을 통해 작업장에서 노출될 수 있음
- ▶ 아세트산비닐을 제조하거나 사용하는 시설 주변의 공기 흡입을 통해서도 노출이 발생할 수 있음

(4) 배출량 정보

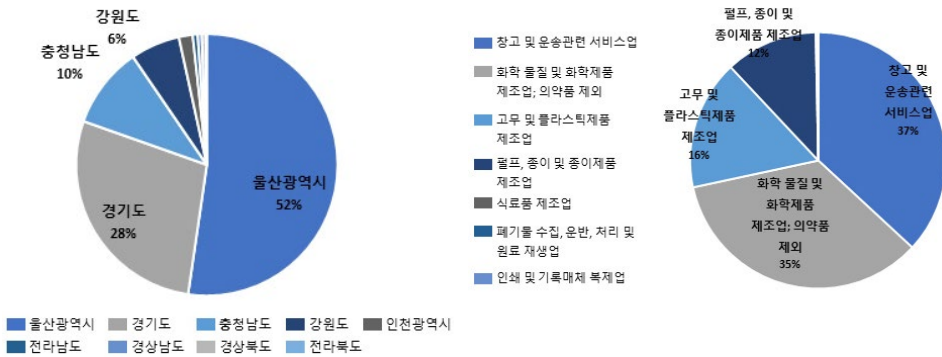
- ▶ 1987년 미국의 제조 및 처리시설에서 최소 880만 파운드의 아세트산비닐이 방출되었음

- ▶ 1987년 국내 제조 및 가공 시설에서 발생한 총 환경 방출량 중 대기로의 방출량은 약 75%로 660만 파운드를 차지하였음
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 아세트산비닐의 양은 145,797kg 정도로 보고되었음

(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 아세트산비닐 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 아세트산비닐을 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질 (그룹 2B)로 분류
- ▶ 근로자의 급성 흡입 노출은 눈 자극과 상기도 자극을 초래
- ▶ 설치류에서 높은 수준으로 급성 흡입된 경우 코 자극, 호흡곤란, 폐 손상, 경련 관찰
- ▶ 만성적인 직업적 노출로 근로자들은 상부 호흡기 자극, 기침 또는 목이 쉬어지는 일부 사례가 보고되었음
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 10ppm, STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준) 15ppm

- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 10ppm, STEL 15ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 15분 ceiling limit 4ppm (15mg/m³)
- ▶ RfC for Inhalation Exposure: 2×10^{-1} per mg/m³

System	RfC (mg/m ³)	Basis	PoD	Composite UF
Nervous, Respiratory	2×10^{-1}	Nasal epithelial lesions	NOAEL (HEC): 5mg/m ³	30

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- EPA, Vinyl acetate, 2000
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2021
- IRIS

63. 비스(2-에틸헥실) 프탈레이트 (Bis(2-ethylhexyl) phthalate)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	분자량	390.56
끓는점	384°C	녹는점	-55°C
증기압	1.42 × 10 ⁻⁷ mmHg at 25°C	log Kow	7.60
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
생식독성	1B (위험)	H360	태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 수 있음
수생환경 유해성 급성	1 (경고)	H400	수생생물에 매우 유독함
수생환경 유해성 만성	1 (경고)	H410	장기적 영향에 의해 수생생물에 매우 유독함

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	-
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2021-06-22	유독물질: 국립환경과학원 고시 제2021-36호	-
2015-07-01	등록대상기준화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

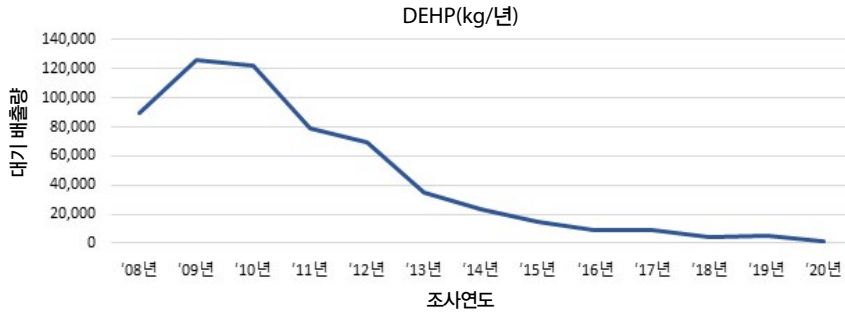
(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 비스(2-에틸헥실)프탈레이트(DEHP)의 주요 용도는 폴리염화비닐(PVC)와 염화비닐 수지를 생산하는 것이며, 플라스틱에 유연하게 첨가
- ▶ 가소제(플라스틱에 1~40%의 함량으로 DEHP가 포함)로 모조 가죽, 레인 코트, 신발류, 실내 장식품, 바닥재, 전선 및 케이블, 식탁보 등에 사용되고 있으며, 작동유 및 유전체 유체로 사용
- ▶ 화학물질을 제조하거나 사용하는 공장 근로자의 경우 DEHP에 대한 직업상 노출이 발생할 수 있음
- ▶ 새로 페인트칠을 한 방이나 최근에 바닥이 설치된 방의 실내 공기 중 DEHP 수치는 실외 공기보다 높을 수 있음
- ▶ 가공 및 저장 과정에서 플라스틱으로부터 음식물로 이동할 수 있음
- ▶ 수혈, 신장 투석 및 인공호흡기 사용과 같은 특정 의료 절차 중에서도 발생할 수 있음

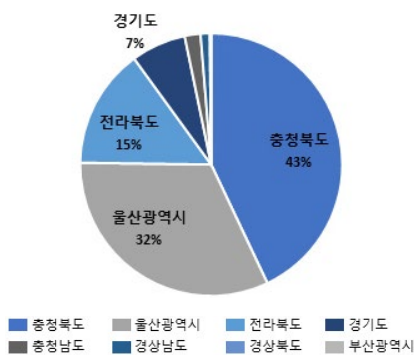
(4) 배출량 정보

- ▶ DEHP의 평균 대기 농도는 도시 지역에서 0.002ppb 미만으로 매우 낮음
- ▶ 1997년 산업에서 약 291,000파운드가 방출되었음
- ▶ 2020년 국내에서 배출된 DEHP의 양은 1,227kg 정도로 보고되었음

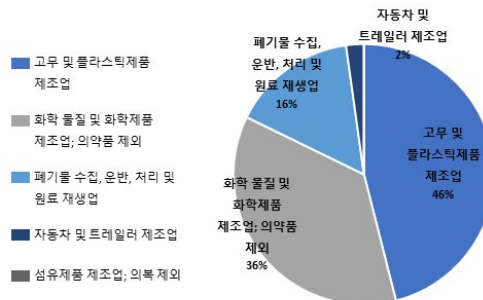
(자료 출처: 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원)



〈연도별 대기 중 DEHP 배출량 변화〉



〈지역별 기여율 (조사연도: 2020년)〉



〈업종별 기여율 (조사연도: 2020년)〉

(5) 주요 인체 영향

- ▶ 국제암연구소(IARC)에서 DEHP를 사람에게 암을 일으키는 가능성이 있는 물질(그룹 2B)로 분류
- ▶ 미국 환경 보호국(EPA)에서 DEHP를 동물에 대한 충분한 증거에 기초한 인간 발암 우려 물질(그룹 B2)로 분류
- ▶ 동물 연구에서 DEHP의 만성 흡입 노출로 인한 폐 및 간 무게 증가를 보고
- ▶ 화학물질의 노출기준(고용노동부고시 제2020-48호): TWA (Time Weighted Average, 시간가중평균노출기준) 5mg/m³, STEL (Short-Term Exposure Limit, 단시간노출기준)10mg/m³

- ▶ OSHA (Occupational Safety and Health Administration)의 PEL (Permissible Exposure Limits): 8시간 TWA 5mg/m³
- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 5mg/m³
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 최대 10시간 TWA 5mg/m³, STEL 10mg/m³, IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강위험농도) 5000mg/m³
- ▶ DNEL (Derived-No-Effect-Levels, 무영향도출수준)-흡입: 130µg/m³ (인체) (ECHA)

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- EPA, Bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), 2000
- 화학물질 배출·이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2020
- ECHA

64. 디메틸포름아미드 (Dimethylformamide)

(1) 물리적 특성 및 유해성 분류표시

분자식	C ₃ H ₇ NO	분자량	73.1
끓는점	152.8°C	녹는점	-60.3°C
증기압	3.87mmHg at 25°C	log Kow	-1.01
대기반감기	-	PBT 여부	-

유해성종류	등급	유해·위험표시문구	
인화성 액체	3 (경고)	H226	인화성 액체 및 증기
급성독성-흡입	4 (경고)	H332	흡입하면 유해함
심한 눈 손상/눈 자극성	2 (경고)	H319	눈에 심한 자극을 일으킴
발암성	1 (1B) (위험)	H350	암을 일으킬 수 있음
생식독성	1 (1B) (위험)	H360	태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 수 있음 (태아에게 손상을 입힐 수 있음)

(2) 규제정보

고시일자	고시정보	기준
2023-01-05	대기오염물질: 대기환경보전법	-
2014-12-30	기존화학물질: 환경부고시 제2014-237호	-
2021-06-22	유독물질: 국립환경과학원 고시 제2021-36호	-
2015-07-01	등록대상기존화학물질: 고시일로부터 3년	-
2022-04-27	중점관리물질: 환경부고시 제2022-79호	-

(3) 사용용도 및 대기배출원

- ▶ 디메틸포름아미드는 주로 산업용 중합체의 용매로 사용
- ▶ 고분자 섬유, 필름 및 표면 코팅을 처리, 탄화수소 분리하는 데 사용
- ▶ 아크릴 섬유 생성에 있어 약학적 처리 과정, 와이어 에나멜을 생산, 제약 산업에서 결정화 매체로 사용되고 있음
- ▶ 자연적으로 발생하지 않으며, 개인은 작업장에서 노출될 가능성이 가장 높음

(4) 배출량 정보

- ▶ 산업 현장 인근 주거지역의 공기에서 0.02~0.12mg/m³ 범위의 농도로 조사

- ▶ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (threshold limit value): 8시간 TWA 5ppm
- ▶ NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)의 REL (recommended exposure limit): 최대 10시간 TWA 10ppm, IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health, 즉시건강 위험농도) 500ppm
- ▶ RfC for Inhalation Exposure: 3×10^{-2} per mg/m³

System	RfC (mg/m ³)	Basis	PoD	Composite UF
Hepatic	3×10^{-2}	Digestive disturbances and minimal hepatic changes suggestive of liver abnormalities	LOAEL (HEC): 7.9mg/m ³	300

참고문헌

- NCIS 화학물질정보시스템
- EPA, N,N-Dimethylformamide, 2000
- 화학물질 배출 · 이동량 정보, 환경부 화학물질안전원
- Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-132
- 화학물질의 노출기준, 고용노동부고시 제2020-28호, 2020.01.14. 일부개정
- OSHA, 2020
- IRIS

2023년 10월 25일 발행

편집 및 발행:

발행처: (사)한국대기환경학회

전화: 02-387-1400 팩스 : 02-387-1881

홈페이지: <https://www.kosae.or.kr>

출판: 정행사

전화: 02-2232-3281 팩스 : 02-2232-5874

홈페이지: <https://www.junghaengsa.co.kr>

본 출판물의 글과 그림은 (사)한국대기환경학회가 소유권과 저작권을 보유함.

▶ 대기위해물질 사전



사단
법인 **한국대기환경학회**
Korean Society for Atmospheric Environment