

2004~11년, 대한산업보건협회 작업환경측정 결과에 따른

허용기준 대상물질 13종 노출 실태 조사

대한산업보건협회 산업보건환경연구원 / **최아름, 임성국, 이귀영**

서론

급속한 산업 발전과 함께 근로자 건강을 위협하는 유해 화학물질의 종류 및 사용량이 늘어나면서 발암성물질 사용 및 직업병 유발로 사회적 물의를 일으키기 시작하였고, 이에 따라 특정 유해화학물질에 대해 작업장 내 노출 허용농도를 제정하여 근로자 건강장해예방을 위한 관리를 하게 되었다. 고용노동부에서는 1983년 노동부 고시 제1호로 작업환경측정방법 고시 내에 분진, 유기용제 16종, 특정화학물질 43종, 소음 및 연 등의 노출기준을 설정하였으며, 지속적인 제개정을 통해 현재 699여 종의 분진 및 화학물질에 대해 관리를 하고 있다.

우리나라 고용노동부는 근로자에게 중대한 건강장해를 유발하여 사회적 물의를 일으킨 석면, 벤젠 등을 포함한 일부 유해인자들에 대하여 작업장 내 노출농도를 허용기준 이하로 유지하도록 '허용기준제도를 도입하여 관리하고 있다. 산업안전보건법 제 81조의 4에 규정된 허용기준대상물질은 총 13종으로써, 납 및 그 무기화합물, 니켈(불용성 무기화합물), 디메틸포름아미드, 벤젠, 2-브로모프로판, 석면, 6가크롬화합물(불용성, 수용성), 이황화탄소, 카드뮴 및 그 화합물, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 노말헥산이다.

허용기준 대상물질 13종의 대표적인 직업병 사례는 1987년 인조견사제조공정에서 이황화탄소에 의한 중독사고, 1994년 우리나라 모 전자부품 조립생산 공장에서 세정제로 사용하던 프레온 함유

물질의 국제규제로 인하여 대체제품으로 사용된 2-bromopropane(제품명: 솔벤트 5200)의 중독사고, 2003년에는 Trichloroethylen의 직업적 노출에 의한 독성간염 및 박탈성 피부염, 2005년 1월 외국인근로자 노말렉산 집단 중독사고 등이 보고되었다(최재욱 등, 1991; 강성규, 2005; 채홍재, 2003).

안전보건공단의 2006년도 연구보고서에 따르면, 2004년 작업환경실태조사 결과를 바탕으로 허용기준 대상물질 13종에 노출되는 근로자수는 약 45,000명으로, 납의 경우 약 21,000명이 노출되는 것으로 조사되었다(안전보건공단, 2006).

허용기준 대상물질 13종은 크게 유기화합물(디메틸포름아미드, 벤젠, 2-브로모프로판, 이황화탄소, 톨루엔-2,4-다이소시아네이트, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 노말렉산), 금속류(납, 니켈, 6가 크롬, 카드뮴), 허가대상물질(석면)로 나눌 수 있다. 유기화합물 중 디메틸포름아미드는 의약품·약제품 제조, 봉제 의복 및 모피제품 제조업, 섬유제품제조업에 사용되며, 벤젠은 원유정제처리, 석유화학에 사용된다. 2-브로모프로판은 전자부품 세척 공정에 주로 사용되며, 이황화탄소는 인조견사 제조, 화학섬유 방적, 화학제품 제조, 톨루엔-2,4-다이소시아네이트는 윤활유 및 그리스 제조, 합성수지 및 기타 플라스틱 물질 제조, 트리클로로에틸렌은 기계 세척용, 염색, 음료 용매, 석유화학계 기초 화합물, 포름알데히드는 포르말린 제조, 합판 제조, 합성수지 및 화학제품 제조, 노말렉산은 유기용제 세척제, 접착제 등에서 사용되고 있다(하권철 등, 2008; 정은교 등, 2010; 김현주 등, 1999).

금속류 중 납은 축전지 제조업, 전기전자 제품관련 공정, 중금속 취급공정, 니켈은 철 및 합금 제조, 니켈-카드뮴 전지 제조 공정, 6가 크롬은 스테인리스강 용접업, 스테인레스 제조업, 단열재 제조업, 카드뮴은 전기도금, 플라스틱 안정제, 니켈-카드뮴 배터리 제조 등의 공정에서 사용된다(최재욱 등, 2010; 박형숙 등, 2004; 윤충식 등, 1999; 조수현 등, 1991).

허가대상물질인 석면은 현재 제조·수입·양도·제공 또는 사용이 금지되어 있지만, 과거에는 주로 건축자재인 슬레이트 원료, 슬레이트와 보온 단열재, 석면 마찰제 생산(자동차와 기차, 중장비용 브레이크 라이닝과 패드, 클러치 페이싱), 석면방직업, 가스켓과 단열제품에 많이 사용되었다(최정근 등, 1998).

벤젠은 단기 노출될 경우 화학적 폐렴, 중추신경계 억제 등이 나타나고, 장기 노출될 경우 범혈구 감소증, 백혈병, 혈소판 감소증 등의 혈액 질환을 유발하는 발암성 물질이며, 석면은 흉막반, 미만성 흉막 비후, 양성 삼출성 흉막염, 원형무기폐, 기관지원성암, 악성중피종, 폐암, 난소암, 후두암을 유발한다(Snyder 등 1993; Brodtkin 등 2005). 포름알데히드는 단기 노출 시 코, 인후, 눈에 급성자극, 두통, 메스꺼움, 호흡기 질환 등이 유발되며(윤충식 등, 1999; Hagino 등, 1961), 국제암연구소(International Agency for

Research on Cancer, IARC)에서는 인간에게 암을 일으킬 수 있는 물질로 분류하고 있다. 6가 크롬은 폐암, 비종격천공, 피부 궤양, 피부염, 알레르기 피부염 및 신장장애를 일으키며, 카드뮴은 Itai-Itai병의 원인 물질로 호흡기계통 질환을 유발하여 급성폐렴과 호흡기 부종뿐 아니라 심장혈관계, 골격계 및 신장질환을 유발한다. 고용노동부에서는 고시 제2012-31호에 벤젠, 석면, 6가 크롬 화합물, 카드뮴 및 그 화합물, 포름알데히드를 1A, 사람에게 충분한 발암성 증거가 있는 물질로 분류하고 있다.

트리클로로에틸렌은 지각마비, 근육통, 위장장애, 중추신경장애 증상, 낮은 조혈기능, 위장관계, 중추신경이나 말초신경, 근육, 신장기능, 심혈관 및 생식기관 등 다양한 종류의 급성 및 만성 비발암성 독성을 유발하고, 니켈은 단기 노출 시 현기증, 구역, 구토, 불면증, 호흡곤란, 청색증 등이 나타나며, 장기 노출 시 폐와 비강암 등을 일으키며, 툴루엔-2,4-다이소시아네이트는 알레르기 반응, 화상, 구역, 구토, 위통, 흉통 등을 일으킨다(Mahaffey, 1983; ATSDR, 1999; Cheng 등, 2001; Lanphear 등, 2000; Lidsky and Schneider, 2003; Tsaih 등, 2004; 김형수 등, 2001; 이성수 등, 2004). 디메틸포름아미드는 호흡기와 피부를 통해 흡수되어 구역, 구토, 혈청 증가, 간손상 등이 유발되고, 2-브로모프로판은 명정증상, 간 이상, 이황화탄소는 단기 노출 시 자극, 흉통, 호흡곤란, 두통, 정서장애 등이 발생하며, 노말렉산은 말초신경독성 등을 초래한다(김수근 등, 1995; 김현주 등, 1999).

허용기준 대상물질 13종에 대해 안전보건공단에서는 유해성 및 위험성 평가 등 작업환경측정자료를 이용한 연구들이 꾸준히 진행되고 있다. 이에 반해, 11,723개 사업장(2009년)에 대해 작업환경측정을 실시하고 있는 대한산업보건협회의 경우 충분한 데이터가 있음에도 불구하고, 이에 대한 자료의 분석과 활용이 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 2004년도부터 2011년까지 진행된 대한산업보건협회 전국 센터의 작업환경측정결과를 이용하여 허용기준대상물질 13종의 유해인자별 농도 및 농도수준 분포를 조사하여 물질별 특성을 파악하고자 하였다. 또한, 도출된 자료를 바탕으로 작업환경측정 평가 시 기초자료를 제공하고 개선방안을 제시할 수 있는 근거자료로 활용하고자 한다.

연구 방법

1. 조사 대상

본 연구는 2004~2011년까지 대한산업보건협회 작업환경측정 자료를 대상으로 하였으며, 대상물질은 산업안전보건법 제 81조의4(허용기준)에 의해 정해진 허용기준 대상물질 13종(별표 11의 3)을 대상으로

하였다.

2. 유해인자 노출농도 및 노출수준

허용기준 대상물질 13종에 대하여 각각 평균과 표준편차, 최소값, 최대값, 평균노출지수(평균측정농도/노출기준)를 비교하였으며, 물질별 노출수준은 총 5단계(노출기준 0.01배 이하, 0.01~0.1배 이하, 0.1~0.5배 이하, 0.5~1.0배 이하, 1.0배 초과)로 구분하여 분석하였다.

3. 불검출 자료처리

우리나라 산업보건분야에서는 아주 낮은 농도를 분석할 때 자료의 처리에 곤란을 겪고 있다. 대부분의 측정보고서에서는 아주 낮게 검출되는 농도(또는 정량하기 어려운 농도수준)에 대해서는 ‘미검출’, ‘불검출’, ‘흔적’, ‘ND’, ‘Non-Detectable’, ‘Trace’ 등으로 표기하고 있으나 이에 대한 명확한 정의나 논의가 없었다.

불검출 자료를 처리하는 방법은 크게 세 가지가 있다. 첫 번째 방법은 불검출을 검출한계(Detection limit) 이하로 간주하여 농도를 제외시키는 것이다. 불검출 농도를 제외하고 자료 처리를 할 경우 결과를 과대평가할 우려가 있어 바람직하지 못하다. 두 번째 방법은 불검출 자료를 0으로 간주하는 방법으로 결과를 과소평가할 우려가 있다. 세 번째 방법은 불검출 자료를 검출한계의 1/2로 간주하는 방법으로 가장 합리적인 방법이다(EPA, 2000).

검출한계의 개념은 여러 기관에서 정의하고 있다. 국제순수응용화학연합(International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC)에서는 ‘어느 주어진 분석 절차에 따라 합리적인 확실성을 가지고 검출할 수 있는 가장 적은 농도나 양’으로 정의하고 있으며, 미국환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)에서는 ‘0(Zero)과 신뢰성 있게 구별될 수 있지만, 적절한 정밀성으로 정량할 수는 없는 가장 낮은 농도’로 정의하고 있다.

검출한계를 구하는 방법은 여러 가지가 있지만, 본 연구에서는 방법적 검출한계(Method Detection Limit, MDL)를 이용하였다. 방법적 검출한계는 분석기기가 검출할 수 있는 가능한 저농도의 분석대상물질을 시료 채취기구에 직접 주입시켜 흡착시킨 후, 시료 전처리 방법과 동일한 방법으로 탈착시켜, 이를 7회 반복 분석 시 기기의 반응 값들로부터 표준편차를 가한 후 아래와 같이 검출한계 및 정량한계를 구하였다(고용노동부, 2011).

- 검출한계 : $3.143 \times \text{표준편차}$
- 정량한계 : $\text{검출한계} \times 4$

본 연구에서는 실험을 통해 각 유해물질에 대한 방법적 검출한계를 구하였고, 불검출인 자료 대신 방법적 검출한계의 1/2값을 적용하여 자료 분석을 실시하였다.

4. 통계분석

통계분석은 2001~2011년까지 허용기준 대상물질 13종의 작업환경측정자료를 Microsoft Excel 2010, IBM SPSS 21.0을 이용하여 빈도분석을 실시하였다.

연구 결과 및 고찰

1. 항목별 불검출 현황 및 불검출 처리

대상물질을 크게 유기화합물, 금속류, 허가대상물질로 나눌 수 있으며, 허용기준 대상물질 13종의 전체 불검출 시료는 37,694개(41.4%)였다. 유기화합물의 전체 불검출률은 40.7%이었고, 2-브로모프로판의 불검출률이 100%로 가장 높았으며, 벤젠 81.0%, 이황화탄소 74.3%, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트 74.0% 등의 순으로 나타났다. 반면, 가장 낮은 검출률을 보인 것은 포름알데히드(7.3%)였다. 금속류 전체 불검출률은 33.8%이며, 카드뮴의 불검출률이 59.6%로 가장 높았고, 6가크롬 화합물(불용성) 34.5%, 니켈(불용성 무기화합물) 34.4%, 6가크롬 화합물(수용성) 33.8%, 납(연) 및 그 무기화합물 33.6%의 순으로 나타났다. 허가대상물질인 석면의 불검출률은 88.5%로 조사되었다(표 1).

본 연구에서는 불검출 자료를 검출한계의 1/2값으로 적용하기 위하여 각 물질별 방법적 검출한계 및 방법적 검출한계의 1/2값을 산출하였으며, 그 결과는 <표 2>와 같다.

<표 1> 항목별 자료 현황

	검출		불검출	
	개수	백분율(%)	개수	백분율(%)
전체	53,282	58.6	37,694	41.4
유기화합물	37,192	59.3	25,486	40.7
노말헥산	17,605	56.3	13,647	43.7
디메틸포름아미드	2,554	55.5	2,045	44.5
벤젠	605	19.0	2,587	81.0
이황화탄소	9	25.7	26	74.3
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	1,230	26.0	3,496	74.0
트리클로로에틸렌	3,614	56.7	2,762	43.3

포름알데히드	11,575	92.7	905	7.3
2-브로모프로판	0	0.0	18	100.0
금속류	15,538	66.2	7,946	33.8
납(연) 및 그 무기화합물	12,798	66.4	6,462	33.6
니켈(불용성 무기화합물)	80	65.6	42	34.4
카드뮴 및 그 화합물	76	40.4	112	59.6
6가크롬화합물(불용성)	489	65.5	258	34.5
6가크롬화합물(수용성)	2,095	66.2	1,072	33.8
허가대상물질	552	11.5	4,262	88.5
석면	552	11.5	4,262	88.5

<표 2> 허용기준 대상물질 13종의 불검출 자료 처리 결과

	MDL†	1/2 MDL	노출기준	단위
유기화합물				
노말hexan	0.0125	0.0063	50	ppm
디메틸포름아미드	0.0515	0.0258	10	ppm
벤젠	0.0073	0.0037	1	ppm
이황화탄소	0.004	0.002	10	ppm
톨루엔-2,4-다이소시아네이트	0.000004	0.000002	0.04	mg/m ³
트리클로로에틸렌	0.0222	0.0111	50	ppm
포름알데히드	0.0074	0.0037	0.5	ppm
2-브로모프로판	0.0238	0.0119	1	ppm
금속류				
납(연) 및 그 무기화합물	0.0018	0.0009	0.05	mg/m ³
니켈(불용성 무기화합물)	0.0108	0.0054	0.5	mg/m ³
카드뮴 및 그 화합물	0.0021	0.0011	0.03	mg/m ³
6가크롬화합물(불용성)	0.0006	0.0003	0.01	mg/m ³
6가크롬화합물(수용성)	0.0006	0.0003	0.05	mg/m ³
허가대상물질				
석면	0.0023	0.0011	0.1	개/cm ³

† MDL(Method Detection Limit) : 방법적 검출 한계

2. 허용기준 대상물질의 측정현황

산업안전보건법 시행규칙 제 93조 1에서 정하는 작업환경측정 대상 유해인자(별표 11의4)는

190종(화학적 인자 182종, 물리적 인자 2종, 분진 6종)으로써, 허용기준 대상물질 13종은 모두 화학적 인자(유기화합물 8종, 금속류 4종, 허가대상 유해물질 1종)에 속한다.

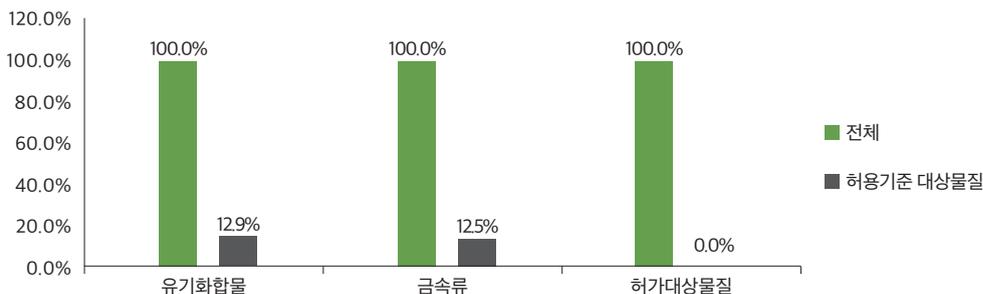
고용노동부 자료에 따르면 2010년도 작업환경측정을 실시한 전체 사업장 67,139개 중 노출기준을 초과한 사업장은 12,201개(18.2%)로 나타났으며, 2010년도 대한산업보건협회에서 측정한 사업장 11,723개 중 노출기준을 초과한 사업장은 2,736개(23.3%)로 나타났다.

대한산업보건협회에서 측정한 사업장 중 허용기준 대상물질 13종에 대해 측정을 실시한 사업장의 수는 2,089개(17.8%)로써, 이 중 유기화합물에 대해 측정을 실시한 사업장 수는 1,519개(72.7%), 금속류 660개(31.6%), 허가대상물질 79개(3.8%)의 순으로 나타났다(표 3).

노출기준 초과 사업장은 전체 2,089개 사업장 중 17개(0.8%)였으며, 유기화합물에 대해 초과된 사업장 85개 중 허용기준 대상물질은 11개(12.9%), 금속류 초과 사업장은 48개 중 6개(12.5%), 허가대상물질 초과 사업장은 3개 중 0개(0.0%)로 조사되었다(그림 1).

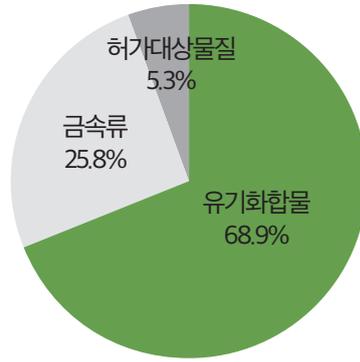
<표 3> 작업환경측정 대상 유해인자와 허용기준 대상물질 13종 비교(2010년)

		작업환경측정 대상 유해인자		허용기준 대상물질 13종	
		노출기준 초과(%)	전체	노출기준 초과(%)	전체
전체	사업장 수	12,201(18.2)	67,139		
협회	사업장 수	2,736(23.3)	11,723	17(0.8)	2,089
	건 수	2,908(8.5)	34,290		
유기화합물	사업장 수	85(1.7)	5,051	11(0.7)	1,519
금속류	사업장 수	48(1.0)	4,728	6(0.9)	660
허가대상물질	사업장 수	3(5.6)	54	0(0.0)	79



<그림 1> 노출기준 초과 사업장 중 허용기준 대상물질 13종이 차지하는 비율(2010년)

허용기준 대상물질 13종 중 유기화합물은 62,678건(68.9%), 금속류 23,484건(25.8%), 허가대상물질 4,814건(5.3%)이었다(그림 2). 13개 물질 중 가장 시료수가 많은 것은 노말헥산으로 시료 수는 31,252건(34.4%)이었으며, 다음으로 납(연) 및 그 무기화합물 19,260건(21.2%), 포름알데히드 12,480건(13.7%)의 순으로 나타났다(표 4).



<그림 2> 허용기준 대상물질 13종 시료 건수 분포

<표 4> 허용기준 대상물질 13종의 물질별 시료

대상물질	시료 수(건)	백분율(%)
유기화합물	62,678	68.9
노말헥산	31,252	34.4
디메틸포름아미드	4,599	5.1
벤젠	3,192	3.5
이황화탄소	35	0.04
톨루엔-2,4-디이소시아네이트	4,726	5.2
트리클로로에틸렌	6,376	7.0
포름알데히드	12,480	13.7
2-브로모프로판	18	0.02
금속류	23,484	25.8
납(연) 및 그 무기화합물	19,260	21.2
니켈(불용성 무기화합물)	122	0.1
카드뮴 및 그 화합물	188	0.2
6가크롬화합물(불용성)	747	0.8
6가크롬화합물(수용성)	3,167	3.5
허가대상물질	4,814	5.3
석면	4,814	5.3

3. 유해인자 노출농도 및 노출수준

1) 유기화합물

노말핵산의 전체 시료는 31,252개이며, 평균농도는 0.9799 ± 4.128 ppm이었으며, 노출기준(50 ppm)의 0.02배에 해당되는 수준이었다. 전체 시료 중 25,353개(81.1%)가 0.01배 이하에 해당되었으며, 노출기준을 초과하는 시료는 17개(0.1%)로 나타났다.

디메틸포름아미드의 전체 시료는 4,599개이며, 평균농도는 1.6536 ± 2.9404 ppm이었으며, 노출기준(10 ppm)의 0.165배에 해당되는 수준이었다. 노출수준별 분포를 살펴보면, 전체 시료 중 2,143개(46.6%)가 0.01배 이하에 해당되었으며, 노출기준을 초과하는 시료는 75개(1.6%)로 나타났다.

벤젠의 전체 시료는 3,192개이며, 평균농도는 0.0392 ± 0.1266 ppm이었으며, 노출기준(1 ppm)의 0.039배에 해당되는 수준이었다. 전체 시료 중 2,611개(81.8%)가 0.01배 이하에 해당되었으며, 노출기준을 초과하는 시료는 5개(0.2%)로 나타났다.

이황화탄소의 전체 시료는 35개이며, 평균농도는 0.0562 ± 0.1354 ppm이었으며, 노출기준(10 ppm)의 0.006배에 해당되는 수준이었다. 전체 시료 중 30개(85.7%)가 0.01배 이하에 해당되었으며, 노출기준을 초과하는 시료는 없었다.

톨루엔-2,4-디이소시아네이트의 전체 시료는 4,726개이며, 평균농도는 0.7 ± 3.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 노출기준($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)의 0.018배에 해당되는 수준이었다. 전체 시료 중 3,891개(82.3%)가 0.01배 이하에 해당되었으며, 노출기준을 초과하는 시료는 2개(0.04%)로 나타났다.

트리클로로에틸렌의 전체 시료는 6,376개이며, 평균농도는 3.8412 ± 10.306 ppm이었으며, 노출기준(50 ppm)의 0.077배에 해당되는 수준이었다. 전체 시료 중 3,728개(58.5%)가 0.01배 이하에 해당되었으며, 노출기준을 초과하는 시료는 32개(0.5%)로 나타났다.

포름알데히드의 전체 시료는 12,480개이며, 평균농도는 0.0498 ± 0.0934 ppm이었으며, 노출기준(0.5 ppm)의 0.1배에 해당되는 수준이었다. 전체 시료 중 5,353개(42.9%)가 0.01~0.1배 이하에 해당되었으며, 4,038개(32.4%)의 시료가 0.01배 이하에 해당되었다. 노출기준을 초과하는 시료는 101개(0.8%)로 나타났다.

2-브로모프로판의 전체 시료는 18개이며, 평균농도는 0.0119 ppm이었으며, 노출기준(1 ppm)의 0.012배에 해당되는 수준이었다. 전체 시료 18개(100.0%) 모두 0.01~0.1배 이하에 해당되었으며, 노출기준을 초과하는 시료는 없었다.

2) 금속류

납(연) 및 그 무기화합물의 경우 전체 시료는 19,260개이며, 평균 농도는 $0.0041 \pm 0.0226 \text{ mg/m}^3$ 이었으며, 노출기준(0.05 mg/m^3)의 0.082배에 해당되는 수준이다. 노출 수준별 분포를 살펴보면, 대부분이 노출기준의 0.01~0.1배 이하(88.2%)였으며, 노출기준을 초과하는 시료는 177개(0.9%)로 나타났다.

니켈(불용성 무기화합물)의 경우 전체 시료는 122개이며, 평균 농도는 $0.0056 \pm 0.0012 \text{ mg/m}^3$ 이었으며, 노출기준(0.5 mg/m^3)의 0.011배에 해당되는 수준이었다. 전체 122개 시료 모두 0.01~0.1배 이하(100.0%)였으며 노출기준을 초과한 시료는 없었다.

카드뮴 및 그 화합물의 전체 시료는 188개였으며, 평균 농도는 $0.0019 \pm 0.003 \text{ mg/m}^3$ 이었으며, 노출기준(0.03 mg/m^3)의 0.063배에 해당되는 수준이었다. 전체 188개 중 170개(90.4%)의 시료가 노출기준의 0.01~0.1배 이하에 해당되었으며, 노출기준을 초과하는 시료는 없었다.

6가 크롬 화합물(불용성)의 전체 시료는 747개였으며, 평균 농도는 $0.0017 \pm 0.0092 \text{ mg/m}^3$ 이었으며, 노출기준(0.01 mg/m^3)의 0.17배에 해당되는 수준이었다. 노출 수준별 분포를 살펴보면, 대부분이 0.01~0.1배 이하(78.4%)였으며, 노출기준을 초과한 시료는 13개(1.7%)로 나타났다.

6가 크롬 화합물(수용성)은 전체 시료 3,167개였으며, 평균농도는 $0.0021 \pm 0.0056 \text{ mg/m}^3$ 이었으며, 노출기준(0.05 mg/m^3)의 0.042배에 해당되는 수준이었다. 전체 3,167개 시료 중 2,022개(63.8%)의 시료가 노출기준의 0.01배 이하로 나타났고, 노출기준을 초과한 시료는 3개(0.1%)로 나타났다.

3) 허가대상물질

석면의 전체 시료는 4,814개이며, 평균농도는 $0.0039 \pm 0.0261 \text{ 개/cm}^3$ 이었으며, 노출기준(0.1 개/cm^3)의 0.039배에 해당되는 수준이었다. 노출수준별 분포를 살펴보면, 전체 시료 중 4,537개(94.2%)가 0.01~0.1배 이하에 해당되었으며, 노출기준을 초과하는 시료는 12개(0.2%)로 나타났다.

<표 5> 허용기준 대상물질 13종의 유해인자별 농도

	시료	평균	평균 노출 지수*	표준 편차	최소	최대	노출 기준	단위
유기화합물								
노말렉산	31,252	0.9799	0.020	4.128	0.0063	162.083	50	ppm
디메틸포름아미드	4,599	1.6536	0.165	2.9404	0.0258	37.8174	10	ppm
벤젠	3,192	0.0392	0.039	0.1266	0.0037	2.836	1	ppm
이황화탄소	35	0.0562	0.006	0.1354	0.002	0.508	10	ppm
톨루엔-2,4- 디이소시아네이트	4,726	0.7	0.018	3.1	0.002	87.5	40	μg/m ³
트리클로로에틸렌	6,376	3.8412	0.077	10.306	0.0111	279.932	50	ppm
포름알데히드	12,480	0.0498	0.100	0.0934	0.0037	1.1899	0.5	ppm
2-브로모프로판	18	0.0119	0.012	-	0.0119	0.0119	1	ppm
금속류								
납(연) 및 그 무기화합물	19,260	0.0041	0.082	0.0226	0.0009	1.6285	0.05	mg/m ³
니켈(불용성 무기화합물)	122	0.0056	0.011	0.0012	0.0054	0.0156	0.5	mg/m ³
카드뮴 및 그 화합물	188	0.0019	0.063	0.003	0.0011	0.0248	0.03	mg/m ³
6가크롬화합물(불용성)	747	0.0017	0.170	0.0092	0.0003	0.196	0.01	mg/m ³
6가크롬화합물(수용성)	3,167	0.0021	0.042	0.0056	0.0003	0.1096	0.05	mg/m ³
허가대상물질								
석면	4,814	0.0039	0.039	0.0261	0.0011	1.07	0.1	개/cm ³

* : 평균노출지수 = 평균측정농도/노출기준

<표 6> 허용기준 대상물질 13종의 유해인자별 노출기준의 농도수준 분포

n(%)

	노출기준의					전체
	0.01배 이하	0.01~0.1 배 이하	0.1~0.5배 이하	0.5~1.0배 이하	1.0 배 초과	
전체	43,816 (48.2)	36,066 (39.6)	8,807 (9.7)	1,850 (2.0)	437 (0.5)	90,976 (100.0)
유기화합물						
노말렉산	25,353 (81.1)	4,385 (14.0)	1,319 (4.2)	178 (0.6)	17 (0.1)	31,252
디메틸포름아미드	2,143 (46.6)	745 (16.2)	1,214 (26.4)	422 (9.2)	75 (1.6)	4,599
벤젠	2,611 (81.8)	247 (7.7)	290 (9.1)	39 (1.2)	5 (0.2)	3,192
이황화탄소	30 (85.7)	5 (14.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	35
톨루엔-2,4-다이소시아네이트	3,891 (82.3)	591 (12.5)	222 (4.7)	20 (0.4)	2 (0.04)	4,726
트리클로로에틸렌	3,728 (58.5)	1,473 (23.1)	920 (14.4)	223 (3.5)	32 (0.5)	6,376
포름알데히드	4,038 (32.4)	5,353 (42.9)	2,617 (21.0)	371 (3.0)	101 (0.8)	12,480
2-브로모프로판	0 (0.0)	18 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	18
금속류						
납(연) 및 그 무기화합물	0 (0.0)	16,985 (88.2)	1,607 (8.3)	491 (2.5)	177 (0.9)	19,260
니켈(불용성 무기화합물)	0 (0.0)	122 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	122
카드뮴 및 그 화합물	0 (0.0)	170 (90.4)	14 (7.4)	4 (2.1)	0 (0.0)	188
6가크롬화합물(불용성)	0 (0.0)	586 (78.4)	122 (16.3)	26 (3.5)	13 (1.7)	747
6가크롬화합물(수용성)	2,022 (63.8)	849 (26.8)	250 (7.9)	43 (1.4)	3 (0.1)	3,167
그 외(허가대상물질)						
석면	0 (0.0)	4,537 (94.2)	232 (4.8)	33 (0.7)	12 (0.2)	4,814

*: 평균노출지수 = 평균측정농도/노출기준

요약 및 결론

본 연구는 허용기준대상물질 13종의 유해인자별 농도 및 농도수준 분포를 조사하여 물질별 특성을 파악하고자 하였다.

2004~2011년까지 대한산업보건협회에서 측정된 허용기준 대상물질 13종은 총 90,976건이었으며, 이중 노말핵산이 31,252건(34.4%)으로 가장 많았다. 다음으로 납(연) 및 그 무기화합물 19,260건(21.2%), 포름알데히드 12,480건(13.7%) 등의 순으로 나타났고, 시료수가 가장 적은 것은 2-브로모프로판 18건(0.02%)이었다.

평균노출지수(평균노출농도/노출기준)가 가장 높은 물질은 6가크롬 화합물(불용성)로 노출기준의 0.17배에 해당되는 수준이었다. 다음으로 디메틸포름아미드가 노출기준의 0.165배, 포름알데히드가 노출기준의 0.1배 등의 순이었으며, 가장 낮은 평균노출지수를 보인 것은 이황화탄소(노출기준의 0.006배)였다.

노출기준 초과율이 가장 높은 물질은 6가크롬 화합물(불용성)로 초과율이 1.7%(13건)였다. 다음으로 디메틸포름아미드(75건, 1.6%), 납(연) 및 그 무기화합물(177건, 0.9%) 등이 노출기준 초과율이 높았으며, 이황화탄소, 2-브로모프로판, 니켈(불용성 무기화합물), 카드뮴 및 그 화합물은 노출기준을 초과하는 시료가 없는 것으로 나타났다.

이상의 연구결과로 노출 빈도와 노출수준, 노출기준 초과율이 높은 물질들을 중점적으로 관리할 필요가 있다고 생각된다. 또한, 본 연구는 전국적인 규모의 허용기준대상물질 측정자료를 활용하여 분석했다는 것에 큰 의미가 있다. 🍷

참고문헌

1. 강성규, 직업성 생식기계 질환:세계 최초로 2-bromopropane 중독 발생, 무월경·정자수 감소 등 생식기능 저하, 노동, 39(2), 82-85, 2005
2. 고용노동부, 작업환경측정 및 지정 측정기관 평가 등에 관한 고시(고용부 고시 제2011-55호), 2011
3. 김수근, 이수근, 정규철, 디메틸포름아미드(DMF) 폭로가 원인으로 추정되는 전격성간염 1례, 대한산업의학회지, 7(1), 186-190, 1995
4. 김현주, 박영재, 이수진, 송재철, 장은철, 이경영, 심상호, 박시복, 저농도 노말렉산의 만성폭로가 말초신경계에 미치는 영향, 대한산업의학회지, 11(3), 350-360, 1999
5. 김형수, 장성훈, 이원진, 최재욱, 박종태 등, 연 폭로가 남성 호르몬에 미치는 영향, 대한산업의학회지, 13(1), 44-54, 2001
6. 박형숙, 박광식, 니켈의 독성과 발암성, 환경독성학회지, 19(2), 119-134, 2004
7. 윤충식, 백남원, 김정환, 박동욱, 최상준, 김신범, 채현병, 초음파 전처리에 의한 용점 흡 중 6가 크롬의 분석, 분석과학회지, 12(5), 447-459, 1999
8. 이성수, 김진호, 김남수, 김화성, 안규동, 납 작업자에서 ALAD 유전자형과 신기능과의 연관성, 대한산업의학회지, 16(2): 200-209, 2004
9. 정은교, 유계묵, 신정아 등, 석유 및 석탄화학의 대보수작업 중 벤젠노출 특성 비교, 한국산업위생학회지, 20(3), 147-155, 2010
10. 조수현, 김현, 김선민, 아연 용융 도금 작업 근로자의 카드뮴 폭로 가능성에 관한 조사 연구, 대한산업의학회지, 3(2), 153-164, 1991
11. 채홍재, Trichloroethylene의 직업적 노출에 의한 독성간염 및 발암성 피부염 1례, 대한산업의학회지, 15(1), 111-117, 2003
12. 최정근, 백도명, 백남원, 우리나라 석면 생산과 사용 및 근로자 수와 노출농도의 변화, 한국산업위생학회지, 8(2), 242-253, 1998
13. 최재욱, 장성훈, 우리나라에서 발생한 만성 이황화탄소(Carbon disulfide) 중독에 대한 고찰, 대한산업의학회지, 3(1), 11-20, 1991
14. 최재욱, 김남수, 조광성, 함정오, 이병국, 일부 제련 및 리사지 사업장에서 공기중 납 노출농도의 변화, 한국산업위생학회지, 20(1), 10-18, 2010
15. 하권철, 박동욱, 윤충식, 최상준, 이광용, 백도현, 남택형, 이재환, 이종근, 정은교, DMF 취급 사업장에 대한 매트릭스 적용 및 위험성 평가 연구, 한국 산업위생학회지, 18(4), 303-309, 2008
16. 안전보건공단, 작업환경 허용기준 도입을 위한 유해물질 선정 및 허용기준수준에 관한 연구, 2006
17. ASTDR, Toxicological Profile for Lead. Washington DC, U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999
18. Brodtkin CA, Rosenstock L, Asbestosis and Asbestos Related Pleural Disease, Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine. second edision. Elsevier Saunders, Philadelphia, p371, 2005
19. Cheng Y, Schwartz J, Sparrow D, Aro A, Weiss ST, Hu H, Bone lead and blood lead levels in relation to baseline blood pressure and the prospective development of hypertension: the normative aging study, Am J Epidemiol, 153(2): 164-71, 2001
20. Hagino N, Yoshioka K, A study on the etiology of so called "Itai-Itai" disease, J. Japan Orthop. Assoc, 20, 812-814, 1961
21. Lanphear BP, Dietrich KN, Auinger P, Cox C. Cognitive deficits associated with blood lead concentrations < 10 micog/dL in US children and adolescents, Public Health Rep. 115, 521-9, 2000
22. Lidsky TI, Schneider JS. Lead neurotoxicity in children: basic mechanisms and clinical correlates. Brain, 126, 5-19, 2003
23. Mahaffey KR. Biototoxicity of lead: influence of various factors, Fed Proc, 42 1730-1734, 1983
24. Snyder R, Witz G, Goldstein BD, The toxicology of benzene(Review). Environ Health Perspect, 100, 293-306, 1993
25. Tsaih SW, Korrick S, Schwartz J, Amarasiwardena C, Aro A, Sparrow D, Hu H. Lead, diabetes, hypertension, and renal function: the normative aging study. Environ Health Perspect, 112, 1178-82, 2004
26. U.S. Environmental Protection Agency. Assigning Values to Nondetected/non-quantified pesticide Residues in Human Health Food Exposure Assessments. Washington, DC 20460; 2000