



## 화학물질의 물리·화학적 특성과 건강유해성



서울대학교  
보건대학원 교수  
윤 충 식

- 목차 -

- 주제 1. 고용노동부 및 환경부의 화학물질 관리
- **주제 2. 화학물질의 물리·화학적 특성과 건강유해성**
- 주제 3. 화학물질 비상시 (누출, 사고) 기준
- 주제 4. 영업비밀의 사용과 관리
- 주제 5. 사업장의 화학물질 관리 방향

### 1. 도입

최근 우리 한반도는 가습기 살균제 문제로 인해서 안전한 화학물질의 사용에 대한 전국민의 관심이 어느 때보다 들끓고 있다. 지난 호에 언급한 것처럼 실제로 화학물질의 노출로 인한 위험성이 큰 집단은 근

로자인데도, 시민의 입장에서는 화학물질 노출사고가 근로자 보건문제보다는 환경문제가 되었을 때 더 크게 분노한다.

아무튼 지금이 우리나라의 화학물질 관리에 큰 전환점을 이룰 수 있는 계기이다. 이때에 산업보건 측면에서도 화학물질관리에 더 적극적인 필요가 있다. 예를들면 산업위생에서 개선대책의 첫 번째가 대체인데 실제로 국내 산업보건분야에서 대체를 위한 연구와 성과가 거의 전무하다.

현재 지구상에는 얼마나 많은 화학물질이 존재할까? 우리에게 친숙한 CAS(Cheical Abstract Service) No.를 제공하고 있는 미국화학협회(American Chemical Society)에 등록된 화학물질이 5월 19일 현재 1,120만종이 넘고 하루에 15,000종이 넘게 등록되고 있다(<https://www.cas.org/>). 이 중 실제로 사업장에서 사용되는 것은 우리나라인 경우 40,000~45,000여종으로 추산되고 있고, 이 중 유해성 정보가 일부라도 있는 것은 15%로 추산하고 있다(윤충식, 2016). 따라서 우리는 많은 화학물질에 대한 유해성 정보를 알지 못하고 있고, 현실적으로 단기간에 모든 화학물질의 유해성 정보를 파악하기도 힘들다.

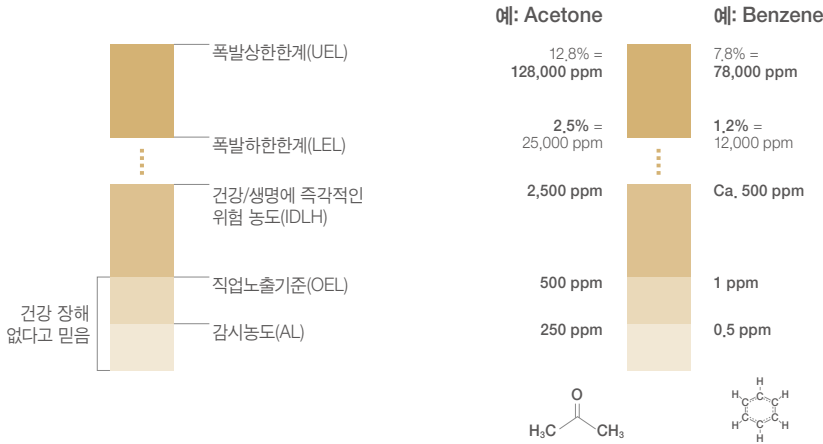
본고에서는 주로 산업안전보건법에서 관리하고 있는 화학물질의 물리화학적 특성과 건강유해성을 다시 짚어보고자 하였다.

## 2. 화학물질의 물리화학적 특성과 건강유해성

### (1) 안전분야 기준과 보건분야 기준

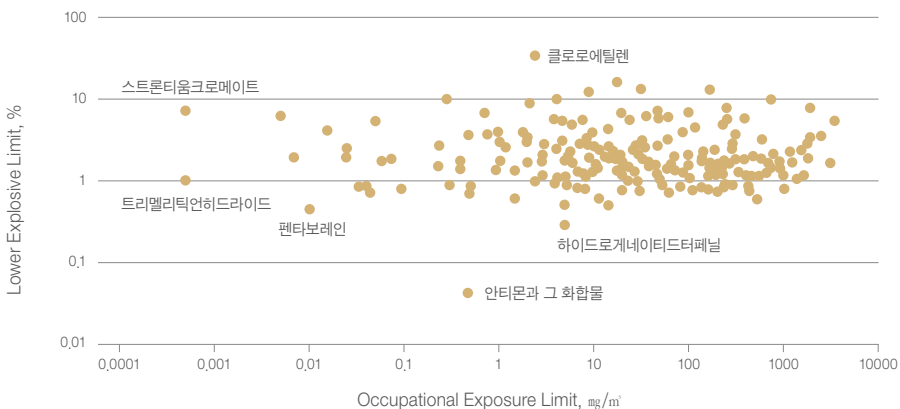
산업보건에서 안전과 보건은 밀접하게 연계되어 있지만 실제 관리측면에서는 그렇지 못한 측면이 크다. 화학물질에 대해 안전을 언급할 때 가장 기초가 되는 것은 화재가능성(폭발성)인데, 이의 관리 지표를 흔히 LEL(Lower Explosive Limit), 또는 LFL(Lower Flammable Limit, 최저 폭발한계)와 UEL(Upper Explosive Limit, 또는 UFL, 상한 폭발한계)이다. 인화성물질로 인한 화재(또는 폭발)가 일어나려면, 연료가 되는 인화성 가스와 산소 그리고 발화원이 필요하다. 건강의 관리지표는 흔히 직업 노출기준(OEL)을 기준으로 하고, 이것의 1/2를 감시농도(AL)로 하고 관리의 시작점으로 간주한다. 또한 사업장에서 급격한 건강장해를 예방하기 위하여 일부물질은 IDLH(immediately dangerous to life and health)기준이 있다.

화학물질에 대해 이들 도식적으로 표시한 것이 <그림1>이다. 그림에서 보듯이 직업노출기준은 화재(폭발)를 일으키는 농도보다 매우 낮음을 알 수 있다. 예를 들어 아세톤과 벤젠의 직업노출기준은 각각 500 ppm, 1 ppm인데 비해 화재발생 가능 농도는 50배, 12,000배인 25,000 ppm, 12,000 ppm이 된다.



〈그림1〉 건강보호기준과 안전기준의 연속성 및 관계

〈그림2〉는 우리나라 고용노동부에서 시간가중 평균 직업노출기준과 최저폭발한계를 모두 갖고 있는 231개 물질의 상관성을 표현한 것이다. 이 그림으로부터 알 수 있는 사실은 첫째, 두 기준에는 상관성이 없다는 것이고, 둘째는 직업노출기준이 최저폭발한계보다 매우 낮다는 사실이다. 따라서 작업장에서 화학물질을 관리할 때 안전측면에서 설계를 하더라도 반드시 보건적인 측면이 먼저 고려되어야 한다.



〈그림2〉 직업노출기준과 최저폭발한계의 상관성

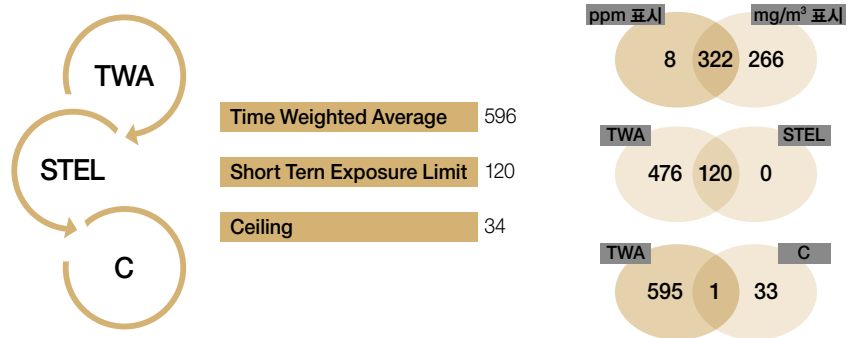
(2) 직업 노출기준 분류

고용노동부의 직업노출기준은 고시의 별표에 717개의 일련번호가 있지만 이를 중복물질을 제거하

면 총 656개 물질(CAS No. 기준)에 대해 노출기준이 설정되어 있다(그림3). 이중 8시간-시간가중평균치(8hr-TWA), 단시간 노출기준(STEL), 천장값(C)를 갖고 있는 것이 각각 596개 물질(91%), 120개(18%), 34개(5%)이다.

〈그림3〉에서 보듯이 STEL이 설정된 물질은 모두 TWA를 갖고 있는데 비해 천장값 설정된 물질은 1개(불화수소)만을 제외하고는 모두 TWA가 설정되어 있지 않다. 불화수소는 TWA 및 천장값이 각각 0.5 ppm, 3 ppm으로 설정되어 있으며 skin 표시가 되어 있다. ACGIH는 각각이 0.5 ppm, 2 ppm으로 설정되어 있다.

현재의 노출기준이 설정된 물질에는 다소 이상한 물질도 있다. 예를 들면 Emery(에머리)라고 표기되어 있지만 이는 실제로 산화알루미늄( $Al_2O_3$ )를 의미하나 국내에서 이런 이름으로 통용되지는 않는다.



〈그림3〉 우리나라 직업노출기준인 TWA, STEL, C에 따른 화학물질의 수

〈표1〉은 직업노출기준이 0.01 ppm이하이거나 0.01 mg/m³이하인 물질을 나타낸 것이다. 따라서 이런 물질들을 취급하는 장소는 더 주의할 필요가 있다.



〈표1〉 직업노출기준이 낮은(0.01 ppm 또는 0.01 mg/m<sup>3</sup>) 이하인 물질들

번호	물질명	CAS	ppm	mg/m <sup>3</sup>	번호	물질명	CAS	ppm	mg/m <sup>3</sup>
1	스트론튬 크로메이트	7789-06-2	-	0.0005	18	디아지논	333-41-5	-	0.01
2	트리멜리틱 안하이드리드	552-30-7	-	0.0005	19	비스 및 그 무기 화합물	7440-38-2	-	0.01
3	백금(가용성염)	7440-06-4	-	0.002	20	수은(알킬화합물)	7439-97-6	-	0.01
4	베릴륨 및 그 화합물	7440-41-7	-	0.002	21	은(가용성 화합물)	7440-22-4	-	0.01
5	사산화 오스뮴	20816-12-0	0.0002	0.002	22	크롬(6가)화합물 (불용성무기화합물)	18540-29-9	-	0.01
6	카드뮴 및 그 화합물 (호흡성)	7440-43-9	-	0.002	23	크롬산 아연	13530-65-9	-	0.01
7	비스-(클로로메틸) 에테르	542-88-1	0.001	0.005	24	티이피피	107-49-3	-	0.01
8	삼수산화 비소	7784-42-1	0.005	0.016	25	펜타보레인	19624-22-7	0.005	0.01
9	헥사메틸렌다이 소시아네이트	822-06-0	0.005	0.034	26	1,1-디메틸히드라진	57-14-7	0.01	0.025
10	톨루엔- 2, 4 - 디이소시아네이트	584-84-9	0.005	0.04	27	메틸 하이드라진	60-34-4	0.01	0.025
11	톨루엔- 2, 6 - 디이소시아네이트	91-08-7	0.005	0.04	28	데미톤	8065-48-3	0.01	0.1
12	이소포론 디이소시아네이트	4098-71-9	0.005	0.045	29	디클로르보스	62-73-7	0.01	0.1
13	디페닐메탄 디이소시아네이트	101-68-8	0.005	0.055	30	메빈포스	7786-34-7	0.01	0.1
14	디메틸카르바모일 클로라이드	79-44-7	0.005	0.006	31	요오드	7553-56-2	0.01	0.1
15	알파나프틸아민	134-32-7	-	0.006	32	헥사클로로시클로 펜타디엔	77-47-4	0.01	0.1
16	니켈 카르보닐	13463-39-3	0.001	0.007	33	4,4'-메틸렌비스 (2-클로로아닐린)	101-14-4	0.01	0.11
17	디아니시딘	119-90-4	-	0.01					

〈표2〉는 본인이 교신저자로 하여 노출기준과 각종 물리화학성질의 상관성을 분석한 것을 재인용한 표이다(박지훈 등, 2015). 표에서 진한 글씨로 표시한 것이 유의성이 있는 항목들이다. 예를 들어 8시간-노출기준(TWA)과 STEL은 유의한 상관성이 있다. 즉, 8시간 노출기준이 낮으면 STEL도 그 값이 낮은 것을 나타내는데 이는 타당성이 있다. 흡입독성치를 나타내는 LC<sub>50</sub>와 TWA는 상관성이 높지만 (0.47) LD<sub>50</sub>는 TWA와 상관성(0.37)이 있지만 다소 낮다. TWA와 끓는점은 약한 음의 상관성을 갖는다. 증기압은 TWA과는 상관성이 없지만 STEL과는 강한 상관성(0.61)을 갖는데 이는 STEL이 대부분

가스상 물질이고 단기간 노출기준임을 고려할 때 이해가 간다.

근로자 교육을 할 때 냄새와 노출기준은 상관성이 없다고 이야기하지만 실증적인 자료가 잘 없었다. 국내에서 노출기준(TWA)이 있고, 냄새 제한도가 있는 물질은 111개에 달한다. 표에서 보듯이 냄새서한치(표의 OT)와 TWA의 상관성은 0.09로 매우 낮으며 STEL과의 상관성도 0.11로 낮음을 알 수 있다. 노출기준이 낮은 물질은 TDI(Toluene-2,4-diisocyanate 또는 Toluene-2,6-diisocyanate)는 노출기준이 0.005 ppm으로 매우 낮으면서 냄새서한도도 0.05 ppm으로 낮다. 그러나 숫자에서 보듯이 TDI는 냄새가 나면 이미 노출기준을 초과하고 있다고 할 수 있다. 트리메틸아민, 2-에톡시 에틸아세테이트 같은 물질, 디메틸아민은 모두 노출기준이 5 ppm인데 각각의 냄새서한도는 0.00021, 0.00056, 0.00076 ppm으로 냄새는 매우 낮은 농도에서도 발생한다. 대표적인 악취물질인 황화수소와 암모니아의 노출기준은 각각 10 ppm, 25 ppm인데 비해 냄새 서한도는 각각 0.05 ppm, 0.03 ppm 정도여서 이들의 냄새가 난다고 하더라도 노출기준을 초과한다고 할 수 없다.

〈표2〉 직업노출기준 설정 물질의 건강관련지표와 물리화학적 성질의 상관성(박지훈 등, 2015)

	TWA	STEL	LD <sub>50</sub>	LC <sub>50</sub>	MW	BP	OT	VP	VD	SB	OWPC
TWA	1,000										
STEL	<b>0,8208*</b> (p<0,0001)	1,000									
LD <sub>50</sub>	<b>0,3663*</b> (p<0,0001)	<b>0,6750*</b> (p<0,0001)	1,000								
LC <sub>50</sub>	<b>0,4713*</b> (p<0,0001)	0,1466 (p=0,1281)	<b>0,3128*</b> (p<0,0001)	1,000							
MW	-0,0841 (p=0,0741)	-0,0784 (p=0,3341)	0,0062 (p=0,8958)	-0,0632 (p=0,2572)	1,000						
BP	<b>-0,1249*</b> (p=0,0051)	-0,1054 (p=0,2202)	<b>0,1013**</b> (p=0,0436)	-0,0621 (p=0,2824)	<b>-0,1212*</b> (p=0,0071)	1,000					
OT	0,0930 (p=0,3187)	0,1100 (p=0,4153)	0,0736 (p=0,4558)	0,0936 (p=0,3494)	-0,0492 (p=0,6473)	-0,1246 (p=0,1845)	1,000				
VP	-0,0119 (p=0,7892)	<b>0,6106*</b> (p<0,0001)	-0,0265 (p=0,5917)	-0,0094 (p=0,8695)	-0,0508 (p=0,2557)	-0,0323 (p=0,4865)	-0,0458 (p=0,6254)	1,000			
VD	-0,0554 (p=0,2726)	-0,0790 (p=0,3645)	0,0594 (p=0,2830)	-0,0314 (p=0,6051)	<b>0,9248*</b> (p<0,0001)	<b>0,3249*</b> (p<0,0001)	0,0020 (p=0,9835)	-0,0608** (p=0,2343)	1,000		
SB	-0,0129 (p=0,7882)	-0,0617 (p=0,4819)	0,0026 (p=0,9605)	-0,0248 (p=0,6849)	-0,0139 (p=0,7738)	-0,0078 (p=0,8782)	-0,0554 (p=0,2726)	-0,0025 (p=0,9599)	-0,0994 (p=0,0701)	1,000	
OWPC	0,0542 (p=0,2554)	-0,0047 (p=0,9583)	0,0318 (p=0,5399)	0,0359 (p=0,5553)	<b>0,4901*</b> (p<0,0001)	<b>-0,1257**</b> (p=0,0123)	-0,0515 (p=0,6018)	-0,0356 (p=0,4657)	<b>0,5973*</b> (p<0,0001)	-0,0222 (p=0,6675)	1,000

MW: Molecular weight, BP: Boiling point, OT: Odor threshold, VP: Vapor pressure, VD: Vapor density, SB: Solubility, OWPC: Octanol-water partition coefficient, \*p<0,01, \*\*p<0,05

### (3) NEFA 기준과 건강 유해성

미국 소방방재청(NEFA)에서는 화학물질의 유해성을 알기 쉽게 표시하기 위하여 NEFA 다이아몬드를 사용한다. NEFA 다이아몬드 왼쪽에는 청색으로 표시하며 건강지표를, 위쪽은 붉은색으로 화재위험성을, 오른쪽엔 노란색으로 반응성을, 아래쪽에는 그 물질의 특성(예, 산, 알칼리, 금속성)을 표시하면 숫자가 0-4까지 주어지는데 각 영역별로 0이면 유해성이 없거나 무시할 만함(none/negligible), 1

이면 사소함(minor), 2는 위험함(dangerous), 3은 심각함(serious), 4, 매우 심각함(Severe or deadly)을 나타낸다.

〈표3〉은 고용노동부 지정 CMR(발암성, 돌연변이성, 생식독성물질)과 NEFA 지표 중 건강위험성의 지수를 구분한 것이다. 상식적으로 생각하면 CMR물질은 위험물질로 대부분 건강지수가 3또는 4이거나 최소한 2 이상이어야 할 것 같지만, 실제로는 〈표3〉과 같이 건강지표가 0인 물질이 6개, NEFA 보건지표가 1(Minor)인 물질도 46개가 된다. 따라서 MSDS나 이런 지표만을 맹신하는 것도 조심하여야 한다. 〈표4〉는 NEFA지수가 0이면서 CMR에 해당하는 것을 표시한 것이다.

〈표3〉 CMR물질의 NFPA의 건강지표에 따른 분류 (박지훈 등 2015)

NFPA Health Rating	Number of Chemicals having NFPA health index and regulated by MOEL					
	C	M	R	CMR	Non-CMR	Total
0	3	1	2	6	21	27
1	28	9	9	46	88	134
2	63	9	14	86	133	219
3	55	19	17	91	75	166
4	24	5	6	35	72	107
Total	173	43	48	264	389	653



〈그림4〉 NEFA 다이아몬드 표시의 예

〈표4〉 고용노동부 CMR물질이면서 NEFA지수가 0인 물질

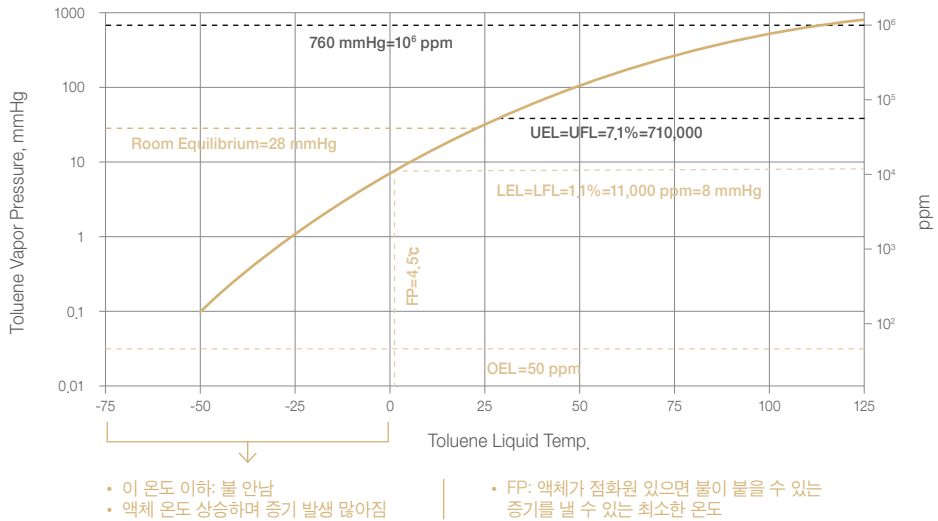
물질명	노출기준 ppm	노출기준 mg/m <sup>3</sup>	발암성	생식세포 변이원성	생식독성
배노밀	0.8	10	2	1B	1B
베타-프로피오락톤	0.5	1.5	1B	-	-
아스팔트 흙(벤젠 추출물, 흡입성)	-	0.5	2	-	-
붕소산사니트륨염(오수화물)	-	1	-	-	1B

(4) 증기압과 건강 및 화재 위험성

작업장에서 화학물질을 관리할 때 영향인자 중 하나가 온도이다. 특히 증기압을 갖고 있는 유기용제인 경우 이는 매우 중요하다. 〈그림5〉는 톨루엔을 예를 들어본 것인데 톨루엔 액체의 온도와 증기압의 변화를 모식도로 표현한 것이다. 그림에서 보듯이 톨루엔 액체의 온도가 올라갈수록 증기압 곡선이 가파르게 상승한다.

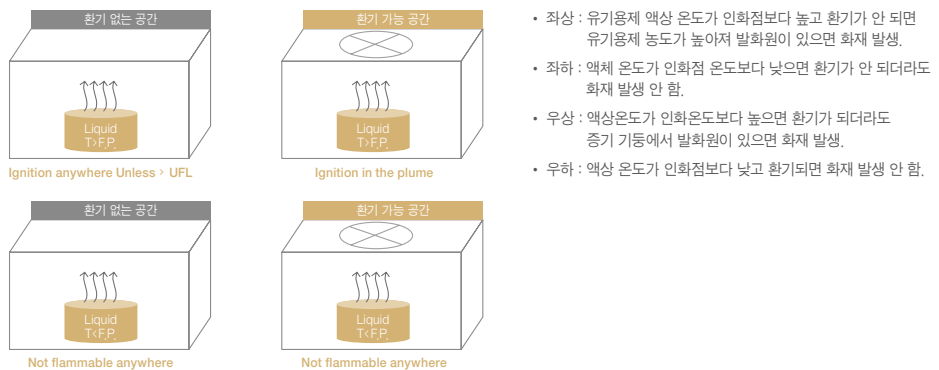
인화온도인 4.5 °C인데 이는 액체의 온도가 4.5°C가 되고 용기가 충분히 개방되었을 때 밀폐된 공간에서 공기중 최고농도가 11,000 ppm에 도달할 수 있고, 이때 발화원이 있으면 화재(폭발)이 발생할 수 있다는 의미이다. 상온인 25°C에서는 증기압이 28 mmHg까지 올라갈 수 있고, 밀폐된 공간에서

충분한 양의 톨루엔이 있으면 공기 중 최대농도는 36,842 ppm까지 상승할수 있다는 의미이다. 일반적으로 유기용제의 온도가 12°C상승하면 증기압이 2배로 커진다고 알려져 있다.



〈그림5〉 톨루엔의 온도에 따른 증기압의 변화곡선

안전측면에서 이를 좀 더 고찰해 보자. 〈그림6〉은 유기용제의 액상 온도와 환기유무에 따른 화재 위험성을 표시한 것이다. 그림에서 보듯이 환기가 안되고 액상의 온도가 인화점보다 높으면 화재 위험성이 있고(좌상), 환기가 되더라도 용매가 증발되는 증기기둥에 발화원이 있으면 화재가 발생한다는 것을 의미한다. 즉, 〈그림5〉와 〈그림6〉을 종합해보면 가능한 유기용제의 온도를 낮추는 것은 해당 물질의 증기압을 낮춰서 공기 중 농도를 낮게 할 수 있다는 점이다.



〈그림6〉 유기용제 액상의 온도(T)와 인화온도(FP)의 관계

### 결론

이번 호에서는 화학물질의 물리화학적 특성 일부와 건강유해성에 대해 알아 보았다. 실제로 이는 회사에서 안전과 보건문제로 나누어져 관리되고 있는 측면이 있다.

필자의 경험에 의하면 소규모 사업장은 안전관리자나 보건관리자가 업무에 비해 인원이 적고, 대기업도 마찬가지로이지만 업무의 분담으로 인해 화학물질관리에 있어 안전과 보건이 따로 관리 되는 측면이 있다고 생각한다. 어느 경우에는 고유한 안전 측면과 보건 측면이 있지만 어떤 경우에는 같이 관리하면 더 좋은 시너지 효과를 낼 수도 있다고 판단한다.

지난 호에도 언급했지만 MSDS를 맹신하는 것과 MSDS를 비치하는 것만을 강조하거나 또 정부에서 이에 대한 감독을 강화하는 것이 실제 사업장의 안전보건을 담보하는지 고민해보아야 한다. ☺

### 참고 문헌

1. 고용노동부, 산업안전보건법
2. 윤충식, 고용노동부 및 환경부의 화학물질 관리, 산업보건협회지, 대한산업보건협회, 2016(5), 21-30
3. 김선주 등, 화학물질 관리연구 2, 환경부와 고용노동부의 관리화학물질의 구분, 노출기준 및 독성 지표등의 특성비교, 한국산업보건학회지, 2015;25(1):58-71.
4. 박지훈등, 화학물질관리연구-1, 산업안전보건법상 관리화학물질의 특성과 노출기준 비교, 2015;25(1):45-57.
5. Perkins JL, Modern Industrial Hygiene, Recognition and Evaluation of Chemical Agents, Volume 1, An International Thomson Publishing Company, 1998.