



화학물질의 비상시 (누출, 사고) 기준



서울대학교
보건대학원 교수
윤 충 식

- 목차 -

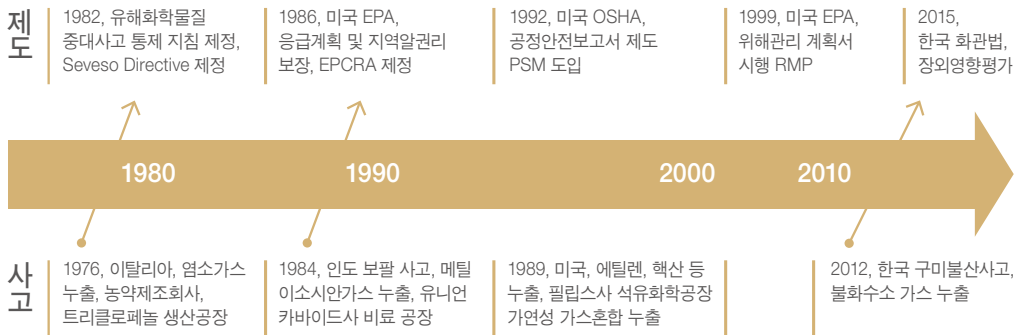
- 주제 1. 고용노동부 및 환경부의 화학물질 관리
- 주제 2. 화학물질의 물리·화학적 특성과 건강유해성
- **주제 3. 화학물질 비상시 (누출, 사고) 기준**
- 주제 4. 영업비밀의 사용과 관리
- 주제 5. 사업장의 화학물질 관리 방향

1. 도입

본 논고의 제 1편(5월호)에서 화학물질 관리는 사업장에서 잘 관리하는 것이 가장 바람직하고, 고용노동부가 이를 위해 더 적극적으로 되어야 한다고 주장한 바 있다. 화학물질의 안전보건사항을 잘 관리하

는 것이 회사의 가시적인 이익에 부합이 된다면, 법적 규제나 기준이 없어도 자연스레 지켜질 것이다. 그러나 대부분의 안전보건사항은 그렇지 못하기 때문에 규제나 기준이 필요하다. 즉, 근로자를 또는 생태계를 화학물질로부터 안전하고 건강하게 지키려면 법적 기준을 설정하는 것이 필요하다. 이런 의미에서 작업장의 건강을 보호하기 위해서 정상 작업에 대해서는 8시간 노출기준, 단시간 노출기준, 또는 천장값 같은 기준을 설정하여 관리하는 것이다.

그러나 사업장에서 이런 정상적인 상태만 있는 것은 아니다. 여러가지 불안전 요소에 의해 크고 작은 화학사고가 발생하기도 한다. 다음 그림은 전 세계적으로 유명한 화학사고와 이로 인한 정부의 대책을 도식화 한 것이다(양원호, 2016;지경희, 2016).



EPCRA : Emergency Planning and Community Right-to-Know | PSM : Process Safety Management | RMP : Risk Management Plan

〈그림1〉 몇 가지 화학물질 사고와 관련 법의 제정

우리나라에서는 1980년대 페놀 낙동강 오염사고로 인해 화학물질의 환경유출이 커다란 사회문제화 되기는 했지만, 해당 기업의 도덕적/법적 무책임에 대한 처벌을 한 것에 그친 반면에 2012년의 구미불산사고에는 환경부가 적극적으로 대응하여 화학물질관리법을 제정하고 여기에 장외영향평가제도를 도입하여 유해화학물질을 사용할 때 사고 발생을 가정하여 그 영향을 평가하는 제도를 도입하였다.

이런 화학물질 사고의 대부분은 사업장에서 일어나기 마련이다. 장외영향평가제도는 산업안전보건법의 공정안전보고서 제도와 일부 중복되기도 한다. 구미불산사고 이후 환경부는 장외영향평가제도를 도입하면서 사고 노출 시의 기준을 제정하려고 여러 가지 방안을 고려하고 있다. 그러나 우리 산업보건 분야는 작업장 노출기준(8시간 시간가중평균치, 단시간 노출기준, 천장값) 또는 LEL(최저 폭발한계) 등 기준에서 한 발자국도 나가지 못하고 있다.

이런 측면에서 본 고에서는 미국에서 도입하고 있는 사고 누출시 적용할 수 있는 기준을 소개하고

자 하였다. 고용노동부나 아니면 전문가 또는 사업장에서 이에 대한 논의가 적극적으로 될 필요가 있으며 법적 기준의 설정을 고용노동부도 재고해야 할 것이다.

2. 본론

화학물질의 사고로 인한 누출에 적용할 수 있는 기준을 제정하고 있는 몇몇 나라와 그 이름을 열거하면 <표1>과 같다. NIOSH의 IDLH는 꼭 사고만을 한정하지는 않지만 30분 이내 사람이 자기 구조능력이나 비가역적 건강상 영향이 없이 탈출할 수 있는 대기중 농도이므로 이 범주에 포함시켰다. STEL인 C인 경우는 사고 시라기 보다는 일반 작업 시 단시간 또는 최고로 노출될 수 있는 기준이라 표에는 삽입하지 않았다. 사업장에서 화학물질 사고 시 이 기준만을 적용해도 되는지는 또 논의해야 할 문제이다. 본 고에서는 이중 미국에서 설정된 ERPG, AEGL, TEEL에 대하여 주로 고찰하였다.

<표1> 몇 나라에서 제정된 화학물질 비상 사고 시 사용할 수 있는 기준들

| 명칭 | 기관, 나라 | 개념 |
|------|------------|--|
| ERPG | AIHA, US | Emergency Response Planning Guideline 비상대응 계획 시 한시간 동안 노출될 수 있는 수준으로 ERPG-1, ERPG-2, ERPG-3가 설정됨 |
| AEGL | EPA, US | Acute Exposure Guideline Level 일반인이 급성노출을 방지하기 위한 기준으로 10분, 30분, 1시간, 4시간, 8시간 기준이 설정됨 |
| TEEL | DOE, US | Temporary Emergency Exposure Limits ERPG와 유사한 개념으로 단시간 노출에 대한 우려농도(Level of Concern)값 |
| IDLH | NIOSH, US | Immediately Dangerous to Life and Health 자기구조능력을 약화시키거나 비가역적인 건강상의 영향 없이 30분 이내에 사람이 노출될 수 있는 기준 |
| EEI | ECETOC, EU | Emergency Exposure Indices 비상사태 대응 지수로 EEI-1, EEI-2, EEI-3로 구분 |
| DTL | HSE, UK | Dangerous Toxic Load 일반인에게 특별한 독성을 나타낼 수 있는 공기중 농도와 시간을 설정함. 국토이용계획(Land Use Planning) 제출 시 사용하며, SLOT(Specified Level of Toxicity) 와 SLOD(Significant Likelihood of Death)로 구분, 219개 물질에 대해 설정됨 |

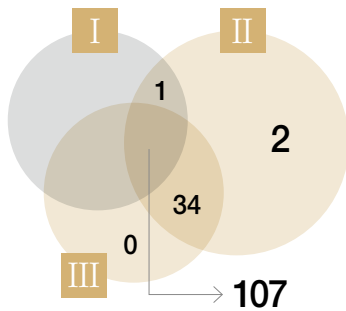
1) ERPG (Emergency Response Planning Guideline)

미국 산업위생학회인 AIHA에서 정한 화학물질 누출로 인한 지역사회의 사고대응에 대한 가이드 라인으로 ERPG-1, ERPG-2, ERPG-3로 구분되는데 그 정의는 다음과 같다. ([http://www.aiha.org/get-involved/AIHAGuidelineFoundation/EmergencyResponse PlanningGuidelines/Pages/default.aspx](http://www.aiha.org/get-involved/AIHAGuidelineFoundation/EmergencyResponsePlanningGuidelines/Pages/default.aspx)).

- ERPG-1 : 아주 가벼운 가역적 증상 이상을 겪지 않거나 심한 냄새를 인지하지 않고 노출될 수 있는 1시간의 최고 농도로 108개 물질에 대해 설정(2014년 기준)

- ERPG-2 : 자기 구조능력을 손상시킬 만한 비가역적 또는 심각한 건강손상이나 증상을 경험하지 않고 노출될 수 있는 1시간의 최고 농도로 144개 물질 설정(2014년 기준)
- ERPG-3 : 생명에 위협을 주는 건강손상을 겪지 않고 노출될 수 있는 1시간의 최고 농도로 141개 물질에 대해 설정(2014년 기준)

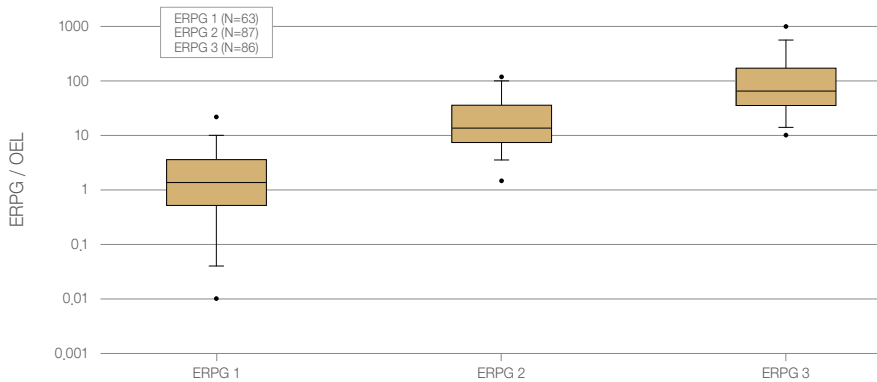
2014년도를 기준으로 볼 때 각 기준에 속하는 화학물질의 수는 <그림2>(a)와 같으며 <그림2>(b)는 예이다. <그림3>은 ERPG와 고용노동부의 노출기준과의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것처럼 ERPG값은 8시간 기준에 비해 높게 설정되어 있다. 특히 ERPG-2와 ERPG-3인 경우에는 훨씬 높다.



Current ERPG® Values(2013)

| Chemical(CAS Number) | ERPG-1 | ERPG-2 | ERPG-3 | LEL*** |
|---|------------|------------|------------|--------|
| Acet: Bis | | | | |
| Acet: Bor | | | | |
| Acro: Bro (75-68-3) | 10,000 ppm | 15,000 ppm | 25,000 ppm | |
| Acryl: 1,3 | | | | |
| Acryl: n-E | | | | |
| Allyl (n-E | | | | |
| Amtr: n-E | | | | |
| Arin: Car | | | | |
| Benz: Car | | | | |
| Benz: Car | | | | |
| (Do: Chi | | | | |
| Benz: Chi | | | | |
| Benz: Chi | | | | |
| Bery: o-C | | | | |
| (2l: Hyd | | | | |
| Chi: Hyd | | | | |
| Chi: Hyd | | | | |
| Chi: Hyd | | | | |
| Styrene(100-42-5) | 50 ppm* | 250 ppm | 750 ppm | |
| Sulfur Dioxide(7446-09-5) | 2 ppm* | 10 ppm | 75 ppm | |
| Sulfur Trioxide(7446-11-9)[See Sulfuric Acid] | 0.5 ppm* | 3 ppm | 15 ppm | |
| Sulfuric Acid(Oleum)[8014-95-7], Sulfuric Trioxide(7446-11-9), and Sulfuric Acid(7664-93-9) | 2 mg/m³* | 10 mg/m³ | 120 mg/m³ | |

<그림2> ERPG-1, ERPG-2, ERPG-3에 속하는 화학물질의 개수(a)와 그 예(b). (b)에서 ★는 ERPG-1 수준에서 넘새가 있음을 나타내는 것임



<그림3> ERPG값과 고용노동부 노출기준의 비교(y 축은 ERPG와 노출기준의 비로 표시함)

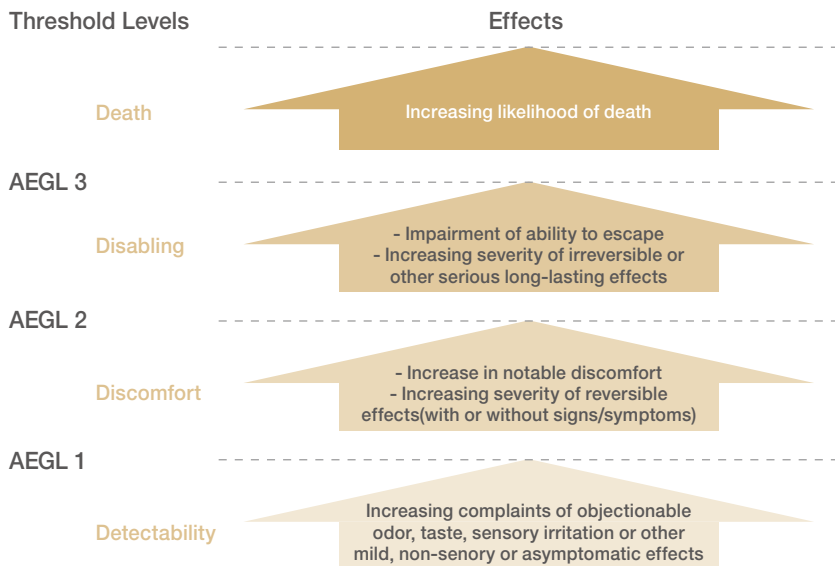
2) AEGL(Acute Exposure Guideline Level)

AEGL은 미국 환경보호청인 EPA에서 정한 화학물질 누출이나 재난으로 인한 일반 시민의 노출에 대한 가이드라인으로 EPA의 National Advisory Committee for AEGL에 의해 개발되었다. 이 값들은 1996-2011. 10월 사이에 위원회에서 집중적으로 제안되었고, 2011년 11월 이후에는 위원회가 해체되어 National Academy of Sciences에서 가안(interim) 물질만 확정하는데 초점을 두고 있다.

2013년 중반기준 131개 물질의 AEGL이 확정되었고, 130개가 가안(interrim)으로 남아 있다. 이것도 ERPG처럼 AEGL-1, AEGL-2, AEGL-3로 구분된다. AEGL의 특이점은 노출시간을 10분, 30분, 1시간, 4시간, 8시간으로 구분하여 각 시간에 따른 농도를 각각 제시하고 있다는 것이다.

- AEGL-1 : 민감인구를 포함한 일반 인구가 이 농도 이상에서는 상당한 불편감, 자극, 어떤 증상을 동반하지 않는 비감각적 효과를 경험할 수 있는 공기중 최고 농도. 이 효과는 장애를 초래하지 않으며, 일시적이며 노출이 중단되면 가역적으로 회복되는 공기중 예측농도.
- AEGL-2 : 민감인구를 포함한 일반 인구가 이 농도 이상에서는 비가역적 또는 다른 심각한, 지속가능한 역건강 효과 또는 대피 능력에 장애를 경험할 수 있는 공기중 예측 농도.
- AEGL-3 : 민감인구를 포함한 일반 인구가 이 농도 수준 이상에서는 생명의 위협 또는 사망을 경험 할 수 있는 공기중 예측 농도.

이를 도식적으로 표시하면 <그림4>와 같다.



<그림4> 미국 EPA의 AEGL 1, AEGL-2, AEGL-3 수준에 따른 건강영향과 설명

3) TEEL (Temporary Emergency Exposure Limits)

U.S. Department of Energy에서 정한 기준으로 주어진 기간동안 대부분 사람이 화학물질에 노출되어 건강영향을 겪을 농도의 추정치로 실제 기준 설정은 Subcommittee on Consequence Assessment and Protective Actions (SCAPA)에서 하였고, ERPG, AEGL처럼 TEEL-1, TEEL-2, TEEL-3로 구분된다. 그 정의는 AEGL과 상당히 유사한데 문맥상으로 보면, AEGL은 대상 인구집단을 정의할 때 민감 인구집단을 포함한(including susceptible individuals)이란 어구를 분명히 하고 있는데 비해 TEEL은 이런 용어가 없다. 그렇다고 민감집단을 배제한다고 단정하지는 못한다.

- TEEL-1 : 일반 인구가 이 농도 이상에서는 상당한 불쾌감, 자극, 어떤 증상을 동반하지 않는 비감각적 효과를 경험할 수 있는 공기중 최고 농도. 이 효과는 장애를 초래하지 않으며, 일시적이며 노출이 중단되면 가역적으로 회복되는 공기 중 예측농도.
- TEEL-2 : 일반 인구가 이 농도 이상에서는 비가역적 또는 다른 심각한하고, 지속가능한 역건강 효과, 또는 대피 능력에 장애를 경험할 수 있는 최고 공기중 예측 농도.
- TEEL-3 : 일반 인구가 이 농도 수준 이상에서는 생명의 위협 또는 사망을 경험할 수 있는 공기 중 예측 농도.

4) ERPG, AEGL, TEEL의 비교

위에서 언급한 ERPG, AEGL, TEEL의 기준은 각각 다른 위원회에서 설정되었고, 또 개념은 비슷하지만 실제 설정된 값은 차이가 나기도 한다. <표2>는 세 가지 지표에 대해 유사 및 차이점을 비교한 것이다.

예를 들어 ERPG는 근로자뿐 아니라 지역사회도 포함하고 있지만 민감집단이 포함되는지는 명확하지 않으며, 정의에 있어서 ‘이 농도 이하에서는(~below)’라는 용어는 ‘어떤 건강효과가 없는(without)’이라는 의미로 사용하고 있다. 반면 AEGL이나TEEL은 민감집단을 포함(AEGL은 명확히 이를 표기하고 있는 반면 TEEL은 표기는 안하고 있음)하고 있으며, 두 지표는 각 수준 이상에서는 어떤 역건강 효과를 경험 할 수 있는(could experience)라는 용어를 사용하고 있다.

<표2> ERPG, AEGL, TEEL의 비교

| | ERPG | AEGL | TEEL |
|------------------------|---------|-----------------------------------|------------|
| Sensitive Individuals | ? | Yes | Yes |
| Publishing Agency | AIHA | National Academy of Sciences(EPA) | SCAPA(DOE) |
| Airborne Concentration | Below | Above | Above |
| Health Effects | Without | Could | Could |
| Values Published | 145 | 131 | 3,387 |
| Release Duration | 60 min | 10, 30, 60min, 4, 8hr | 60 min |

SCAPA: Subcommittee on Consequence Assessment and Protective Actions

〈그림5〉는 HCl, HF, HCN에 대한 ERPG와 AEGL값을 비교한 것이다. 이미 설명했다시피 EPPG는 대개 1시간 기준으로, AEGL은 10분, 30분, 60분, 4시간, 8시간 기준이 있다.

| ERPG levels | | AEGL levels | | | | | |
|-------------|-----|----------------------------------|--------|--------|------|------|-----|
| | | 7647-01-0 Hydrogen chloride(ppm) | | | | | |
| | | 10 min | 30 min | 60 min | 4 hr | 8 hr | |
| 1 | 0.5 | AEGL 1 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |
| 2 | 5 | AEGL 2 | 100 | 43 | 22 | 11 | 11 |
| 3 | 30 | AEGL 3 | 620 | 210 | 100 | 26 | 26 |
| | | 7664-39-3 Hydrogen fluoride(ppm) | | | | | |
| | | 10 min | 30 min | 60 min | 4 hr | 8 hr | |
| 1 | 2 | AEGL 1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 2 | 20 | AEGL 2 | 95 | 34 | 24 | 12 | 12 |
| 3 | 50 | AEGL 3 | 170 | 62 | 44 | 22 | 22 |
| | | 74-90-8 Hydrogen cyanide(ppm) | | | | | |
| | | 10 min | 30 min | 60 min | 4 hr | 8 hr | |
| 1 | NA | AEGL 1 | 2.5 | 2.5 | 2.0 | 1.3 | 1.0 |
| 2 | 10 | AEGL 2 | 17 | 10 | 7.1 | 3.5 | 2.5 |
| 3 | 25 | AEGL 3 | 27 | 21 | 15 | 8.6 | 6.6 |

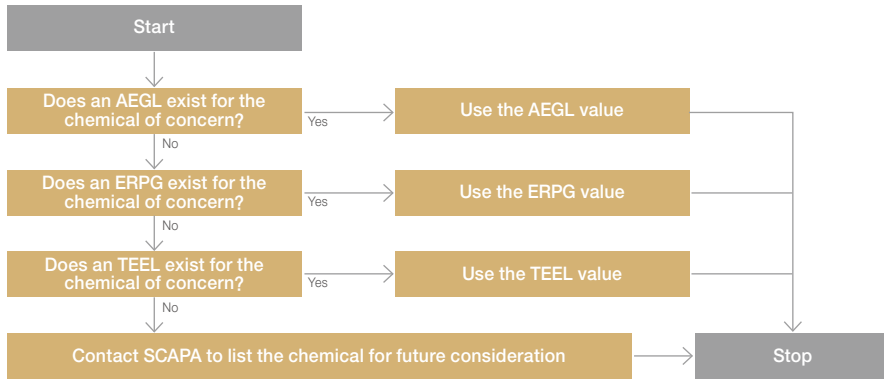
〈그림5〉 ERPG 값과 AEGL 값의 수준별 비교(HCl, HF, HCN의 예)

5) ERPG, AEGL, TEEL 중 어느 기준을 사용해야 하는가?

위에서 미국에서 주로 사용하는 ERPG, AEGL, TEEL에 대해 설명하였거니와 실제 누출사고가 나면 어떤 기준으로 관리하여야 하는가? 이에 대해 미국 DOE는 AEGL, ERPG, TEEL의 값을 적절히 사용할 수 있도록 PAC (Protective Action Criteria)를 제시하고 있는데 이는 2012년 기준으로 3,388개의 화학물질에 대한 값이 제시되어 있고 PAC도 PAC-1, PAC-2, PAC-3로 구분된다. 아래 정의에서 보듯이 이는 특별히 다른 정의를 사용하지 않고, 각 수준에서 ERPG, AEGL, TEEL를 사용하도록 정의하고 있다. 그러면 세 값 중 사용해야 될 값은 무엇인가라는 질문이 제기된다.

- PAC-1 : 적용가능한 AEGL-1, ERPG-1, TEEL-1의 값을 이용한 값
- PAC-2 : 적용가능한 AEGL-2, ERPG-2, TEEL-2의 값을 이용한 값
- PAC-3 : 적용가능한 AEGL-3, ERPG-3, TEEL-3의 값을 이용한 값

이에 대해 PAC는 〈그림6〉과 같은 적용 흐름도를 제시하고 있다. 즉 첫 번째 고려할 값은 AEGL이며 이 값이 없을 때 ERPG값 그리고 이것이 없을 때 TEEL값을 적용하도록 하고 있다. 이 값마저 없을 때는 위에 언급한 SCAPA에서 재고하도록하고 있다.

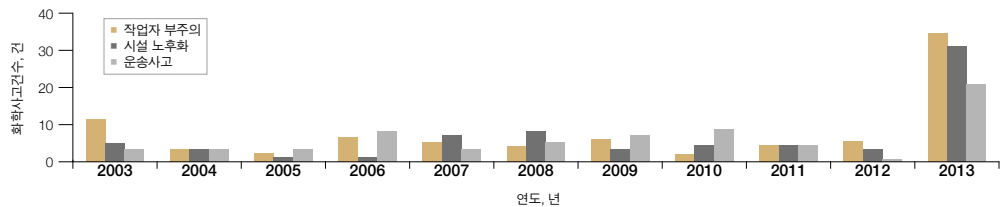


〈그림6〉 미국 DOE(Department of Energy)에서 제시한 PAC(Protective Action Criteria)의 선정 절차

논점

이번 호에서는 화학물질의 사고에 대한 관리기준을 고용노동부에서도 적극적으로 제정하거나 운용할 필요성을 제기하였고 선진국의 예, 특히 미국 산업위생학회의 ERPG를 중점으로 소개하였다. 현재 우리나라는 환경부의 화관법의 장외영향평가제도에 이를 활용하려고 하고 있으나 고용노동부는 별 고려가 없는 것 같다.

위 요약과 더불어 논점으로는 국내화학사고의 발생현황과 이의 원인에 대한 필자의 생각을 주장해보고자 한다. 결론적으로 국내 사업장에서 발생하는 사고는 작업자가 일차적인 피해자이다. 또한 현재 국내 화학사고의 원인을 작업자 부주의로 대부분 돌리고 있는데 이는 잘못된 주장이며, 원인 파악을 잘못하고 이 잘못된 근거로 대책을 세운다면 잘못된 대책만을 세우게 될 것이다. 이에 다음과 같이 논점을 제시한다.



〈그림7〉 우리나라 화학물질 사고 건수(윤충식, 2013)

〈그림7〉은 환경부에서 발간한 화학사고 통계자료이다(윤충식, 2013). 그림에서 보듯이 첫째, 구미 불산사고 이후인 2013년도에는 화학사고가 급증하였는데 이는 사고의 급증보다는 환경부로 보고 건수가 증가하였다는 것을 의미한다. 둘째, 운송사고를 제외하고는 70%정도가 사업장에서 일어난다는 사실이다. 운송사고도 사실은 사업주가 잘 관리를 하면 대폭 줄일 수 있다고 판단한다. 셋째, 파악된 사고 원인의 많은 유형(38%)를 작업자의 부주의로 돌리고 있는 점이다.

필자는 이 셋째에 대해 논의하고자 한다. 사고의 원인을 작업자 부주의로 돌리는게 정당인지 산업 안전이나 산업보건을 하는 모든 사람이 심각히 재고하고 사고의 패러다임을 바꾸어야 할 문제라고 생각한다. 예를 들어 계단을 통해 염산 한통(20L)을 들고 올라가 탱크에 붓는 작업을 하다가 계단에서 미끄러져 염산이 옆질러지는 사고가 났을 때 이는 조사과정에서 분명히 작업자의 부주의로 간주된다. 과연 그런가? 염산을 들고 계단을 오르는 작업 대신 자동화, 펌프 시스템, 컨베이어 등으로 전체 물리적 구조를 바꾸었다면 사고가 나지 않는다.

그런데 대다수 사업장에서는 이런 물리적 안전한 구조, 또는 안전한 작업대책(예, 위 운반 시 반드시 2명 작업, 미끄럼 방지 계단, 소량식 운반 등)이나 관리대책을 세우지 않고, 당해 사건을 작업자에게 책임지우는 것은 구조적 시스템을 무시하고 개인에게 책임을 전가하는 병폐라고 필자는 생각한다. 이렇게 작업자에게 책임을 전가하는 행위는 사업주에게도 정부에게도 어쩌면 손쉬운 해결책이 되어서 그런지도 모른다.

이런 작업자 부주의로 돌리는 시발점이 어디인지 필자는 정확히 모른다. 필자가 추측하기로는 산업공학에서 자동화, 생산효율의 최대화라는 근대 산업구조를 제창하면서 휴먼에러라는 용어를 도입하면서 도입된 것이 아닌가 한다(후에 누군가가 이에 대한 학문적 고찰을 꼭 했으면 한다). 이 논리에 따르면 기계처럼 실수없이 완벽한 일처리 능력을 상정해놓고 이에 맞추지 못하는 인간의 능력을 휴먼 에러라고 하는 것 같다.

인간은 원래 기계가 아니며 완벽하지도 않다. 우리가 인생을 살면서 잘못을 저지르는 것처럼, 일을 할 때도 오차와 에러를 가질 수밖에 없다. 그것이 사람이다.

그런데 기계처럼 일하는 상황을 가정하고, 공정을 그렇게 설계해놓고 이에 따라가지 못하면 휴먼 에러, 그리고 그림에서 보듯이 작업자 부주의로 돌린다. 필자의 주장은 작업자 부주의가 전혀 없다는 말이 아니라 실제로 회사의 작업장이 물리적으로 고려 가능한 안전보건조치를 잘 취하고, 행정적으로 관리조치를 잘 취한 다음에 그래도 작업자가 부주의해서 사고가 나는 것을 작업자 부주의라고 원인을 돌려야지, 불안정한 조건에서 일하게 하고 사고가 나면 작업자 부주의라고 하는 것은 명백한 오류이며, 이로 인해서 작업장을 안전하게 설계하는 대신, 작업자에게 책임을 전가시키는 방지대책을

강구하게 하는 잘못된 병폐를 가져오게 된다.

아직도 우리 기억에 생생한 구미 불산사고가 정말 작업자의 부주의인지, 전체 해당회사의 시스템의 문제인지 들여다 보면 쉽게 알 수 있는 문제이다. 작업자가 안전하고 건강하게 작업할 수 있는 조건을 만들어 놓고 그다음 작업자의 작업방법에 문제가 없는지 살펴보자.

우리가 못살고 경제개발에 목매던 70-80년대에 비해 현재의 우리나라 여건과 시민의식은 확연히 달라졌다. 그때는 어쩔 수 없이 안전한 작업장, 깨끗한 작업장을 제공하지 못했지만, 이제는 우선순위를 바꾸는 패러다임이 필요하다. 이를 위해 전문가, 사업자, 행정기관 모두 시각을 바꾸어야 할 때이다. ☺

참고 문헌

1. 고용노동부, 산업안전보건법
2. 김선주 등, 화학물질 관리연구 2, 환경부와 고용노동부의 관리화학물질의 구분, 노출기준 및 독성 지표 등의 특성비교, 한국산업보건학회지, 2015;25(1):58-71.
3. 윤충식, 고용노동부 및 환경부의 화학물질 관리, 산업보건협회지, 대한산업보건협회, 2016(5), 21-30.
4. 윤충식, 고용노동부 및 환경부 관리 화학물질의 특성(기조발제), 2014 한국산업위생학회 하계학술대회집, 2014.
5. 양원호, 화학사고시 위해 우려농도 기준 방법론 비교, 환경보건학회 춘계학술대회 발표집, 환경보건학회, 2016.
6. 지경희, 유해화학물질의 우려농도 기준 설정을 위해 국내제도가 나아가야 할 방향, 환경보건학회 춘계학술대회 발표집, 환경보건학회, 2016.