◇논　　문◇

작업환경중 유해물질농도의 평가

고려의대예방의학교실 및 환경의학연구실 소장 김 광 종

Ⅰ. 서　　론

현대산업에 있어서 근로자의 건강은 직업의 질적·양적증대와 더불어 물리화학적, 생물학적 제반 유해환경에 새롭고도 묵은 정신적, 육체적 그리고 사회적인 많은 문제점을 안고 있다. 이런 점을 감안하여 정부에서는 산업안전보건법을 제정 공포하여 근로자의 안전과 건강을 확보함과 동시에 쾌적한 작업환경을 형성하는 데 노력을 아끼지 않고 있다.

산업보건의 기본방향은 작업장의 유해환경요인을 제거 내지는 감소시킴으로써 직업병을 사전에 방지하고 근로자의 건강을 보호, 증진시키는 일이라 생각되며 이를 위해서는 작업환경관리가 산업보건관리의 중심업무가 되어야 할 것이다. 따라서 작업환경관리대책을 수립하기 위하여 무엇보다도 선행되어야 할 것은 작업장에서 제조 및 취급하는 각종 유해물질을 정확하게 조사, 분석, 평가가 이루어져야 한다. 우리나라는 1983.1.20 작업환경측정법을 노동부고시 제1호로 제정·공포하였으며, 이 법 내용에는 작업환경 측정방법 및 50여종의 유해화학물질의 허용농도를 정해 놓고 있다. 작업장내의 유해물질 농도를 정확하게 측정하는 것이 매우 중요한 문제이나 그 측정성적을 올바르게 평가하는 것도 이에 못지않게 매우 중요한 일이다.

이에 저자는 작업장내 유해물질의 허용농도에 대하여 언급하고 측정된 자료를 가지고 공기중 유해물질 농도를 평가하는 통계적인 방법을 기술하여 이 분야에 종사하는 관계자들에게 다소나마 도움이 되고자 한다.

Ⅱ. 허용농도

1. 허용농도의 정의

우리나라 작업환경측정법 제3장 제15조에 정의한 유해물질의 허용농도는 "근로자가 유해물질에 노출되는 경우 당해 유해물질의 공기중의 농도가 기준치이하를 유지할 때에는 거의 모든 근로자에게 신체상 악영향을 미치지 아니하는 농도를 말한다. 허용농도의 기준치는 통상적인 (8시간) 근로시간동안 육체적으로 격심하지 않은 노동에 종사하는 경우의 1일 근로시간에 대한 평균농도를 의미한다"라고 정하였다. 이는 직업병 예방을 위한 유해물질 관리의 기준으로 삼고 있으나 이러한 정의대로 수치를 결정한다는 것은 오늘날의 과학적 역량으로서는 도저히 불가능한 일이며 같은 물질에 대하여 나라마다 여러가지 수치가 제시되어 있고 또 그 수치는 산업기술의 발달, 작업환경의 변경이나 개선과 더불어 점차적으로 낮아지는 경향을 선진국에서는 보이고 있다. 따라서 소위 허용농도는 어디까지나 환경관리를 위한 목표 또는 기준으로 생각해야 하며 이것을 과대평가하여 수치상의 근소한 차이를 가지고 인

체에 유해하다거나 무해하다라고 말할 수는 없다.

2. 허용농도 설정

작업장등에서 사용하는 유해물질은 그 농도 및 폭로시간에 따른 폭로량이 인체에 유해할 수도 있고 유해하지 않을 수도 있다고 보는 것이다. 즉 인체내에 흡입된 폭로량이 어느 정도 되더라도 건강장해를 유발시키지 않는 기중 농도가 있으리라고 가정하고 허용농도를 정하고 있다. 이러한 가정은 건강장해에 대해서만 설정할 수 있는 것은 아니며 자극성, 불쾌감, 마취성, 작업능률 저하등을 고려한 가정하에서 유해물질의 허용농도를 정하고 있는 것이다.

일반적으로 유해물질의 폭로량과 의학적인 반응과의 상호관계를 크게 3단계로 나누어 보면 첫째, 진단할 수 있는 뚜렷한 건강장해, 둘째, 민감한 생리적·생화학적 및 기능적 장해의 측정으로 건강장해를 예측할 수 있는 단계, 셋째, 매우 예민한 행동장해를 측정할 수 있는 단계 등이다.

이들 중에서 실제적인 건강장해가 오기전의 생리학적 장해를 측정할 수 있는 최저기준으로서 현재 미국 ACGIH에서 채택하고 있는 TLV (Threshold Limit Value) 가 있으며 정상적인 심신 (행동) 기능 정상상태의 최고기준으로서 MAC (Maximal Acceptable Concentration) 이 채택되고 있다.

이와같이 설정된 허용농도는 무엇보다도 중요한 것이 근로자의 건강과 복지를 향상시키는 것을 목적으로 하여 설정되어야 하며, 한번 설정된 허용농도는 근로자에 대한 건강관리에 적절한가의 여부를 계속 검토하여 필요에 따라 재조정하는 것이 중요하다.

3. 허용농도의 종류

1) 단독 유해물질의 허용농도

정부의 작업환경측정법에 의하면 유기용제 및 특정화학물질의 단독 허용농도의 제정은 시간가중 평균농도 (TWA) 와 단시간 폭로허용농도 (STEL) 로서 2개의 허용농도를 제시하였다.

① 시간가중 평균농도 (TLV-TWA)

하루 8시간 작업동안에 폭로된 유해물질의 시간가중 평균농도의 상한치이며 이러한 농도 이하에서는 거의 모든 근로자가 매일 반복적으로 폭로되더라도 건강장해를 일으키지 않는 관리지표로 사용하되 유해물질의 안전과 위험의 한계로 해석해서는 안된다.

실제적으로 유해물질 농도의 평가는 작업장 공기중 당해 유해물질의 시료채취시간을 적어도 7～8시간 채취한 후 측정한 농도를본 시간가중 평균농도와 비교하여 허용농도 초과여부를 판정하는 것을 명심해야 한다.

② 단시간 폭로 허용농도 (TLV-STEL)

근로자가 15분동안 계속적으로 폭로되어도 자극, 만성 또는 불가역적 조직변화, 마취성으로 인한 재해 증가나 폭로로 인한 영향이 충분히 회복될 수 없거나, 작업능률을 감소시키는 것등을 예방할 수 있는 최고농도이며 1일동안 4회이상을 초과해서는 안되며, 전 폭로기간중 60분 미만이어야 하며, 동시에 시간가중평균농도를 초과해서는 안된다. 단시간 폭로허용농도는 8시간 가중평균농도가 허용농도이내일지라도 1일 작업하는 동안 어떤 시간에 15분 가중평균농도를 초과해서는 안된다는 것으로 정의한다.

이상 열거한 허용농도이외에 천정치 (TLV-Ceiling) 가 있다.

③ 천정치 (TLV-Ceiling)

순간적이라도 초과해서는 안되는 농도를 말한다.

미국 산업위생사협회의 TLV-List를 보면 시간가중 평균농도앞에 " C " 표시가 되어 있는 것을 볼 수 있다. 이들의 TLV는 천정치를 가리키는 것으로 미국 표준협회의 최고허용농도와 같은 의미를 갖는다. 즉 " C " 표시가 된 TLV는 8시간 평균농도를 표시하지 않으

며 이 수치를 넘어서는 안되는 것으로 알려졌다. 즉, 작업시간동안 모든 기중농도는 그 이하로 유지되어야 한다는 것이다.

2) 혼합물질의 허용농도

어떤 작업장이나 공정에서 여러가지 먼지나 흄, 증기, 가스등을 발산할 때 한가지 물질의 측정으로 인체에 미치는 건강장해를 평가하려고 의도하는 일이 가끔 있다.

이러한 경우 그 허용농도는 일반적으로 존재한다고 생각하는 유해물의 수, 독성 및 구성비율등을 고려한 적절한 인자들에 의해서 낮추어 주어야 한다.

작업장내에 2가지 이상의 유해물질이 공존하여 건강에 미치는 작용은 독립작용, 상가작용, 상승작용, 길항작용 등으로 나타나지만,현재 독립작용과 상가작용에 대한 허용기준만이 미국 산업위생사협회에 의하여 설정되어 있으며 우리나라에서는 아직까지 이에 대한 허용기준은 설정되어 있지 않다.

① 상가작용

작업장내의 2개 이상 유해물질이 동시에 존재할 때에는 각 물질의 독성을 개별적으로 생각하기 보다는 두 물질의 종합적인 작용을 일차적으로 생각해야 한다. 특별한 경우외에는 서로 다른 유해물질은 상가작용하는 것으로 생각한다. 즉, $\frac{C_1}{TLV_1} + \frac{C_2}{TLV_2} + \cdots\cdots + \frac{C_n}{TLV_n}$ 의 합이 1을 넘으면 이 혼합물질은 TLV를 초과한다고 보며 동시에 혼합물질의 허용농도를 산출할 수 있다. 여기서 C_n 은 측정한 환경농도, TLV_n 은 그 물질의 허용농도이다.

② 독립작용

각각의 혼합물이 절대로 상가적으로 작용하지 않는다는 확증이 있고 또 그들은 신체의 전혀 다른 부위에 독립적으로만 작용할 때에는 각각의 허용농도와 비교하여 허용기준 초과여부를 판정한다.

예) 공기중 납의 농도가 $0.15 mg/m^3$ ($TLV_1 = 0.15$) 이고 황산은 $0.7 mg/m^3$ ($TLV_2 = 1$) 일때

$$\frac{C_1}{TLV_1} = \frac{0.15}{0.15} = 1, \quad \frac{C_2}{TLV_2} = \frac{0.7}{1} = 0.7$$

따라서 허용기준을 초과하지 않음.

Ⅲ. 작업장 공기중 유해물질 농도의 평가

1) 단순시료 채취법에 의한 초과판정

작업장내 유해물질농도의 측정은 1일 작업시간 전반에 걸쳐서 계속적으로 측정 실시해야 하나 실제로 그것은 거의 불가능하므로 8시간 작업교대내에서 적당한 짧은 시간 동안 일정한 간격으로 여러번 유해물질 농도를 측정하여 그것으로 8시간 작업시간내의 전체농도로 대신할 수 밖에 없다. 즉, 공기중 유해물질의 시료채취시간을 1회에 30분 이하로 여러번 측정한 농도를 기초로 하여 허용기준과 비교하여 통계적으로 신빙도 95%, 또는 99%의 확률을 가지고 측정한 농도가 허용기준을 초과하느냐 또는 미달되느냐를 판정하고 만약 판정불능인 경우에는 추정방법에 의하여 초과여부만 판정하는 방법이다.

일반적으로 작업장내 유해물질 농도는 단순시료채취법에 의해 여러번 측정한 결과 그 측정농도의 분포는 정규분포곡선보다 좌측(저농도측)으로 기울어지는 형태, 즉 대수정규분포를 하는 경향이 있다. 따라서 측정치를 평가하려면 기하평균과 기하표준편차를 계산해야 한다.

계산하는 단계는 다음과 같다.

㉮ 1일 8시간 작업시간내에 유해물질을 15분동안 5회 시료채취했다면 측정회수는 5회가 된다.

㉯ 각 측정한 농도를 X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 로 표시한다면 각 농도들을 상용대수로 계산한다. 즉,

$Y_1 = \log X_1$, $Y_2 = \log X_2$, $\cdots$, $Y_5 = \log X_5$

㉰ 상용대수값들의 평균치 ($\overline{Y}$) 와 표준편차 (S_Y) 를 구한다.

$\overline{Y} = \frac{1}{5}(Y_1 + Y_2 + \cdots\cdots + Y_5)$

$$S_Y = \sqrt{\frac{(Y_1-\bar{Y})^2+(Y_2-\bar{Y})^2+\cdots+(Y_5-\bar{Y})^2}{n-1}}$$

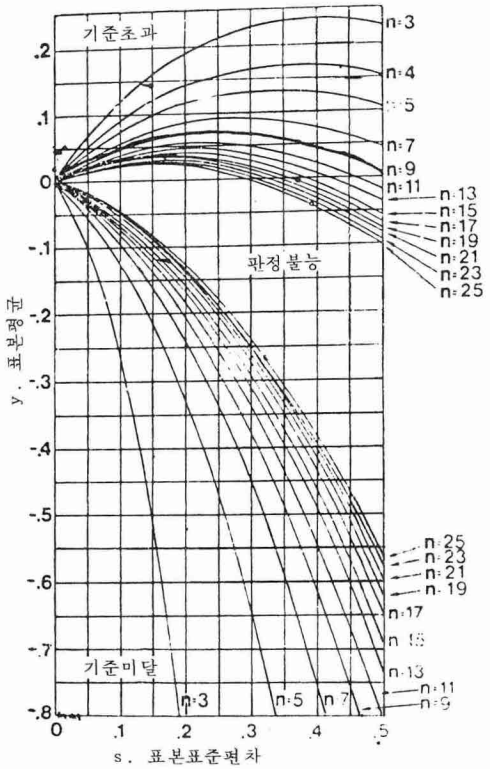
㉮ 평균치 ($\bar{Y}$) 및 표준편차 (S_Y)의 진수를 대수표나 계산기로 구하면

$\bar{Y} \rightarrow \bar{y}$ (기하평균), $S_Y \rightarrow S_y$ (기하표준편차)

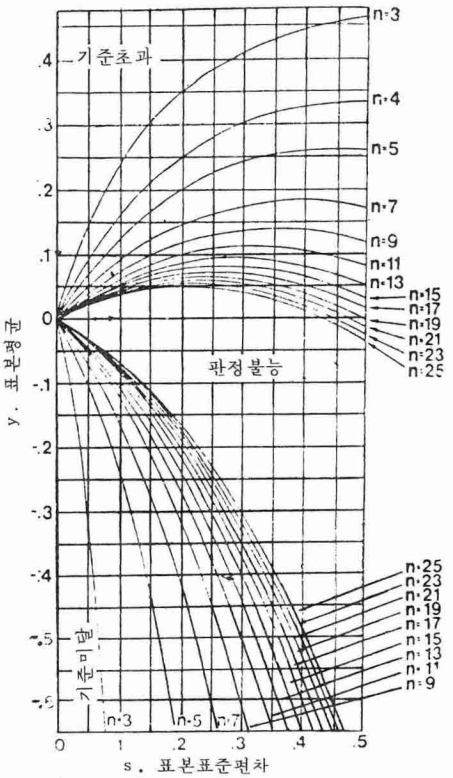
㉯ 그림 I 또는 II를 적용하여 그림의 Y축에는 해당되는 기하평균치와 X축의 기하표준편차와의 만나는 점을 찍고, 이때 실제 측정한 회수 (5번) 의 선에 따라서 허용기준초과 또는 미달, 판정불능의 3개 판정범위중 어느 한 범위에 들게되어 판정하게 된다.

㉰ 이때 판정된 결과는 신뢰도 95 %, 또는 99 %의 확률을 가진 허용기준초과 여부를 의미하게 된다.

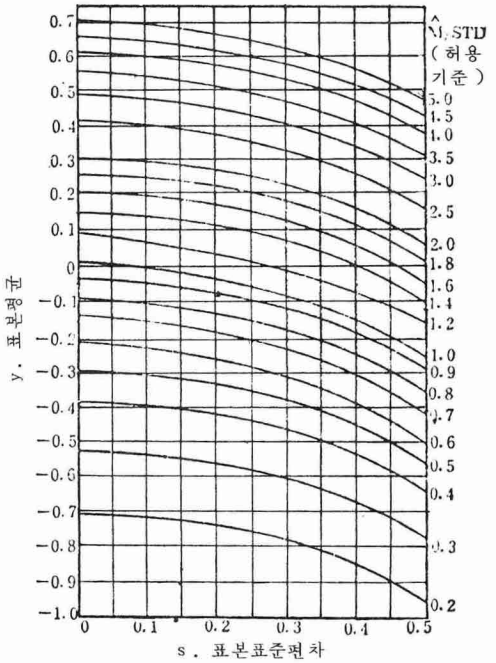
만약에 판정불능이란 결과가 나오면 아래와 같은 방법으로 실시하여 허용기준 초과여부만



〈 그림 I 〉 **95 % 신뢰도를 가진 판정범위**



〈 그림 II 〉 **99 % 신뢰도를 가진 판정범위**



〈 그림 III 〉 **추정계산도표**

알 수 있지 95%, 또는 99%의 신뢰도를 갖지 않는다.

그 단계는 다음과 같다.

① 어떤 유해물질의 측정치인 X_1, X_2, ……, X_5를 허용기준치 (STD)로 나눈다. 즉 $\frac{X_1}{STD}$, $\frac{X_2}{STD}$, …, $\frac{X_5}{STD}$로 표시한 후

② 다음은 상용대수치의 평균값 ($\bar{y}$)과 표준편차 (S)를 구한다.

즉, 평균값은 $\bar{Y} = \frac{1}{5}\left(\log \frac{X_1}{STD} + \log \frac{X_2}{STD} + \cdots\cdots + \log \frac{X_5}{STD} \right)$이며 표준편차는 $S = \sqrt{\frac{(\Sigma Yi - \bar{Y})^2}{n-1}}$ 이다.

이때 $\bar{Y}$ 및 S의 진수값을 구하여 평균값($\bar{y}$)과 표준편차(S)를 구한다.

③ 산출한 평균값과 표준편차값을 그림Ⅰ, Ⅱ에 대입한 결과 판정불능일 경우 그림Ⅲ에 대입하여 측정치들의 평균치 (M)가 허용기준치 (STD)를 초과하는지의 여부를 검토한다. 즉 M／STD가 1보다 크면 허용기준을 초과한다고 추정할 수 있음.

◇논　　문◇

화학물질의 유해성 평가에 관한 국제동향

한국직업훈련관리공단 이사　**박　필　수**

오늘날 우리를 둘러싼 環境에서 工業用 化學物質, 食品添加物, 醫藥品, 農藥등 各種 化學物質은 大略 45,000種 以上이 日帝時부터 使用되고 있다. 또한 每年 數萬의 새로운 化合物이 만들어져 이 가운데 500정도의 物質이 有用性을 인정받아 量産되고 있다. 一般的으로 物質의 用途에 대한 硏究는 정력적으로 推進되고 있으나 사람에 대한 有害性이라는 면에 대해서는 충분한 對應策이 취해지지 않고 있다. 産業 現場에서의 健康障害를 보면 過去에 鉛, 水銀등의 重金屬中毒, 各種 有機溶劑에 의한 中毒 및 染料 中間體등에 의한 職業癌이 發生되어 社會問題가 되었다. 이들 化學物質에 의한 健康障害는 國內外의 緊急課題로 되어 있으며 化學物質이 勤勞者의 健康에 미치는 影響을 事前에 調査하여 適切한 防護策을 강구하는 것이 重要視되기에 이르렀다. 이와 같은 勤勞者의 健康障害를 防止하기 위해 産業安全保健法에서는 化學物質이나 化學物質을 含有하는 製劑등으로서 勤勞者의 保健上 해로운 物質에 대하여는 有害性을 調査하여 그 정도에 따라 適切한 措置 (法第30條)를 하도록 規定하는등 新規化學物質이 作業環境에 導入되기에 앞서 一定의 有害性 調査가 必要하게 되었다. 그러나 우리나라에는 化學物質의 有害性 調査를 위한 本格的인 施設이 整備되어 있지 않아 앞으로 有