

## 입자상 물질 폭로농도의 통계적 평가방법에 관한 고찰

—용접·연삭 작업장의 근로자를 대상으로—

근로복지공사 직업병연구소

윤 영 노 · 이 관 형

### —Abstract—

#### A Statistical Assessment of Particulate Exposure Concentration for the Welders and Grinding workers

Young-No Yoon, Kwan-Hyeong Yi

*Institute of Occupational Diseases, Korea Labour Welfare Corporation*

Particulate matter exposure level of welders and grinding workers was evaluated in Banwol and Changwon industry complexes. Full period single sample and full period consecutive samples were collected with personal air samplers attached to workers. Compliance difference with 8-hour time weighted average (TWA) was compared by Korean strategy and the classification system recommended by OSHA for employee exposure to particulates. And difference of compliance was compared according to precision of measurement and analysis (total precision). Compliance rate was depended on the total precision, therefore, quality control of measurement and analysis was important.

**Key words :** Particulate exposure concentration, Measurement, Statistical assessment, Compliance

### I. 서 론

근로자의 폭로농도가 허용기준을 초과하였는가를 판정하는데 있어서 작업환경을 조사한 결과를 사용하게 되는데 지금까지 국내에서는 측정값(8시간-시간가중평균치)으로 허용기준과 산술적으로 단순히 비교하고 있는 실정이다. 다시 말해서 8시간 시간가중평균농도의 절대값과 허용기준치의 절대값을 비교하여 허용기준을 초과한다거나 허용기준 이내로 판정하고 있다. 그리고 근로자

의 폭로농도의 허용기준 초과 여부에 대한 판정방법이 산업안전보건법(1990)에도 언급되지 않고 있다. 그리고 근로자의 폭로농도의 허용기준 초과 여부에 대한 판정방법이 산업안전보건법(1990)이나 노동부의 '유해물질의 허용농도', '작업환경 측정방법'고시(1991)에도 언급되지 않고 있다.

통계적인 관점에서 볼 때 작업환경 조사에 의한 폭로농도는 측정값이므로 측정과정에서 발생하는 측정오차나 화학분석 과정에서 발생하는 분석오차를 포함하게 된다. 다시 말해서 작업환경

조사에 의한 측정값(참값+측정오차)을 통하여 작업환경에서 발생하는 유해인자 농도의 참값을 구하기 위해서는 다음과 같은 문제를 생각해야 한다. 즉 측정과정에서 발생하는 측정오차를 최대한 줄이면서 폭로농도의 참값을 찾아내야 한다. 여기서 말하는 측정오차는 비체계오차와 체계오차로 나뉘어지는데 비체계오차는 측정의 신뢰성과 관계되고, 체계오차는 측정의 타당도와 직결된다고 할 수 있다. 만약 측정하는 과정에서 측정오차가 없다면, 즉 비체계오차와 체계오차가 모두 영(0)이라면 측정값은 참값과 같으므로 측정된 값은 타당하고 신뢰할 수 있다고 할 수 있다. 그러나 현행 우리나라에서 행하고 있는 작업환경조사의 현실은, 유해인자에 근로자가 지속적으로 폭로되는데 반하여 측정값은 단시간인 한 실험점의 값만을 나타내는 것이고, 근로자가 폭로될 수 있는 참값으로서의 폭로농도는 아닌 것이다. 즉, 측정상의 문제에서 측정오차가 거의 없다고 하더라도 한 실험점에서 구한 값이 곧 참값이 될 수 없다는 것이다. 따라서 근로자가 폭로될 수 있는 폭로농도의 참값을 추정하기 위해서는 통계적인 방법을 적용할 필요가 있다. 또한 근로자가 폭로될 수 있는 대표값을 얻기 위해서는 통계적인 처리가 필요하고, 허용기준을 초과하는가를 판정하는데 있어서도 정부측이나 사업주측 모두가 동의할 수 있는 통계적인 방법을 도입할 필요가 있다.

또한 그 동안 사업주측에서 작업환경측정에 관하여 관심이 부족하고 비협조적이거나 하지 못하여 작업환경측정을 하는 경우가 없지 않았으나 앞으로는 작업환경이 노사문제의 중요한 문제로 부각될 가능성이 높고, 단순히 작업환경 측정이 아니라 작업환경을 개선하는 방향으로 노력하여야 할 것으로 예상되므로 작업환경의 개선이나 허용기준 초과 여부에 관한 작업환경 평가를 하는데 있어서, 정부측만 노력할 것이 아니라 사업주측도 측정방법이나 허용기준 초과 여부의 판정 방법에 관한 의견을 제시할 필요가 있을 것이다.

따라서 용접 작업과 연삭 작업에 근무하는 근로자의 폭로농도를 조사한 후 정부측이나 사업주측에서 고려할 수 있는 허용기준 판정 방법에 참고가 될 수 있으며, 국내에서 활용할 수 있는 방

법으로 생각되는 한 가지 방법을 적용하였을 때의 허용기준 초과율과 현재 국내에서 사용하고 있는 방식에 의한 허용기준 초과율을 비교하여 이에 대한 대안을 제시하고자 하였다.

## II. 측정 방법과 허용기준 적용 방법

### 1. 조사 대상과 선정방법

1990년 7월 초부터 11월 말까지 경기도 안산시 반월공단과 경남 창원시 창원공단내 제조사업장에서 용접 작업과 연삭 작업에 근무하는 근로자를 모집단으로 선정하였다.

Leidel 등(1977)은 입자상 물질에 폭로되는 정도가 가장 심한 근로자의 폭로를 측정하는 것은 일반적으로 입자상 물질의 발생원에서 가장 가까운 근로자를 선택하는 것이므로 용접 작업과 연삭 작업이 최대 입자상 물질의 폭로 작업으로 볼 수 있다고 하였으므로 본 연구에서는 제조업 공정중 용접 작업과 연삭 작업을 선택하였다.

또한 사업장과 근로자의 선정방법은 작업장의 공기 흐름과 근로자의 동선, 국소배기시설과 같은 작업환경 개선 설비에 의하여 근로자의 입자상 물질의 폭로 정도가 영향을 받으므로 (Leidel 등, 1977) 입자상 물질에의 폭로가 가장 심한 근로자를 선정하기 위하여 용접 작업과 연삭 작업에 종사하는 근로자 중에서 국소배기장치의 가동여부와 공기의 흐름을 감안하여 측정 대상 근로자를 선정하였다.

사업장의 각 작업장을 단위 공정과 단위 조작으로 분류하고, 각 작업장은 가능한 한 인근 작업장의 영향을 받지 않도록 선정하였으며, 근로자를 단위 공정과 단위 조작으로 분류한 후 대상 근로자의 선정은 난수표를 이용한 완전임의 추출법으로 표본을 추출하였다.

### 2. 기기와 재료

1) 개인용 공기 포집기(MSA Flow-lite Pro)를 사용 전후에 유량보정계(MSA Model A)로 유량을 보정한 후 폭로 입자상 물질을 포집하였다.

2) filter holder는 open-face 3-piece holder로서 cellulose band로 밀봉하였다.

3) 직시천평(Shimadzu L-200SM)으로 여지를 0.01mg까지 칭량하였다.

4) membrane 여지(Gelman Sciences, 직경 37 mm, 공극  $0.45\mu\text{m}$ 의 mixed cellulose ester)는 폭로농도 측정을 위한 입자상 물질의 포집용으로서 desiccator에서 24시간 건조시킨 후 칭량하였으며, 5회 반복하여 산정하였다. 여지 무게(mg)에 대한 정밀도(시료수 $\times$ 칭량횟수)는 0.08%(0.00-0.31%)(300 $\times$ 5)이었다.

### 3. 측정방법

입자상 물질의 폭로를 파악하는데 있어서 폭로의 편차(exposure variation), 시료 채취, 분석의 정밀도와 정확도를 감안하였을 때, 폭로농도의 참값을 추정하는 데는 신뢰구간의 폭이 가장 좋은 것으로 알려진 8시간 연속분리측정(full period consecutive samples measurement)이 가장 좋다. 이 때의 시료수는 시료 채취와 분석을 감안하였을 때 2개의 연속분리 시료가 좋으며, 그 다음으로 8시간 연속단일 측정(full period single sample measurement)이 좋다(Leidel 등, 1977). 따라서 8시간 연속분리측정과 8시간 연속단일측정 방법을 사용하여 조사대상 근로자에게 작업 전에 개인용 공기 포집기를 착용시킨 후, 1교대조 작업 시간인 8시간의 근무시간 동안 시료를 포집하여 허용기준의 초과율과 초과여부를 판정하는 통계적인 방법을 적용하였다. 8시간 연속분리 시료와

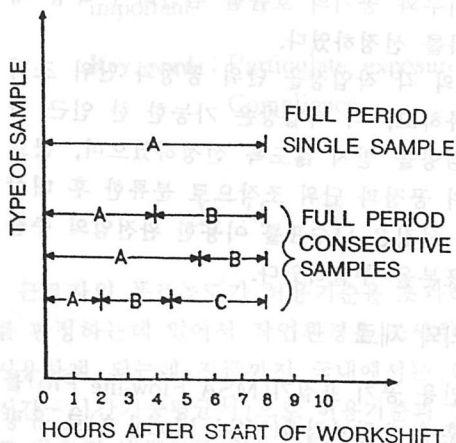


Fig. 1. Reference chart of types of exposure measurements that could be taken for an 8-hour average exposure standard.

8시간 연속단일 시료를 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

시료의 포집은 개인용 공기 포집기를 사용하였으며 포집한 시료를 filter holder의 양쪽 구멍을 마개로 봉하고 실험실로 운반하여 입자상 물질의 무게를 칭량하였다.

근로자에게 폭로되는 입자상 물질을 포집하기 위한 filter holder는 근로자에게 작업에 지장을 주지 않고 코에서 반경 30cm 이내의 범위에서 여지면이 바닥을 향하도록 왼쪽 옷깃과 주머니 덮개에 clip으로 고정하였다.

### 4. 자료분석방법

포집한 시료 중에서 입자상 물질의 양이 저울 눈금 한도의 10배 미만인 0.1mg미만의 것은 제외하였다(通商産業省 立地公害局, 1986).

자료의 동질성을 유지하기 위하여, 시료를 포집하는 과정에서 국소배기장치의 가동에 변화가 생긴 경우 즉, 시료의 포집 중간에 국소배기장치의 가동을 중단시키거나 고장난 경우, 시료를 포집하던 중에 국소배기장치를 가동하거나, 국소배기장치가 없는 곳에 국소배기장치를 가동한 경우는 자료처리에서 제외시켰다. 또한 측정 중에 근로자가 정상적으로 작업하지 않은 경우의 시료도 제외시켰다.

자료의 분류는 단위 공정과 단위 조작으로 분류하여 자료를 처리하였으며, 통계적 추론을 위해 통계적 기법으로는 독립된 두 표본의 t-검정과 분산분석을 적용하려 했으나, 각 기법에 적용할 수 있는 기본 가정(정규성, 독립성, 등분산성)에 충족되지 않아, 비모수검정방법인 Kurskal-Wallis 검정으로 전기용접, 전기용접·연삭, 연삭 작업 근로자의 폭로농도 간의 차이를 검정하였고, 또한 Mann-Whitney 검정으로 전기용접과 가스용접 작업시 폭로농도 간의 차이를 검정하였다.

### 5. 폭로농도의 허용기준 초과 여부 판정방법

#### 1) 폭로농도의 허용기준 초과 여부에 대한 통계적 접근

작업환경 측정을 통하여 근로자의 폭로를 파악하고 그 결과를 사용하여 허용기준과 비교하여 허용기준에 대한 초과여부를 판단하기 위해서는

정부측이나 사업주측에서 측정에 관련된 효율성을 감안하여 시료의 수를 고려하여야 한다. 이때 측정 방법과 분석 방법의 표준오차 (random variation)를 이용하여 시료의 수와 측정시간이 결정되고 여기에서 작업환경 측정에 소요되는 시간과 비용을 최소화시켜야 한다(Leidel 등, 1977).

다시 말해서 근로자의 폭로농도는 항상 변화하므로 근로자가 폭로될 수 있는 실제 폭로농도의 참값은 측정값을 통하여 추정하여야 한다. 즉, 법적인 면에서 허용기준의 초과여부를 판정하는데 있어서, 통계적 추론을 하지 않고 작업환경 측정값을 그대로 사용하여 단순히 허용기준과 산술적인 수치만의 크기를 비교하는 방법으로 허용기준 초과 여부를 판정하는 것은 통계적 추론을 무시하는 것이므로, 허용기준 초과 여부를 판정하는데 도움이 되도록 통계적으로 적절한 측정계획과 판정과정을 통하여 작업환경을 평가하여야 한다(Leidel 등, 1977).

근로자가 폭로되는 폭로농도의 참값에 근접하기 위해서는 앞에서 언급한 것과 같이 측정오차가 영(0)이어야 하며, 시료 채취 방법과 분석 방법의 변이 계수(정밀도,  $CV_T$ )를 알고 측정값이 정규분포성(대수정규분포, 정규분포 등)을 갖는다면 통계적 추론을 통하여 참값이 포함될 신뢰구간을 추정할 수 있다. 참값에 대한 신뢰구간의 추정은 측정값의 분포에서 측정값의 평균을 중심으로 한 양측 신뢰구간(two-sided interval)과 단측 신뢰구간(one sided interval)으로 구할 수 있고, 두 신뢰구간에 참값이 포함된다고 할 수 있다. 단측 신뢰구간(95%)에 의한 허용기준 판정을 그림으로 나타내면 그림 2와 같다. 참값이 포함될 구간이 95%의 확률을 갖는 신뢰구간에서 신뢰구간에 포함되지 않을 기각력(위험도)은 5%이다. 이것은 오랜 경험에서도 95% 신뢰구간에 참값이 포함될 수 있다고 한다(Leidel 등, 1977).

여기에서 확률 측정 변이(random measurement variability)를 인정한 상태에서 통계적 추론을 통한 95% 신뢰구간에 대한 정부측 가설과 사업주측 가설을 통계 용어로 표현하면 다음과 같다(Leidel 등, 1977).

정부측 : 영가설  $H_0 : \mu \leq \text{허용기준}$ , 즉 허용기준

이내

대립가설  $H_A : \mu > \text{허용기준}$ , 즉 허용기준 초과

사업주측 : 영가설  $H_0 : \mu > \text{허용기준}$ , 즉 허용기준 초과

대립가설  $H_A : \mu \leq \text{허용기준}$ , 즉 허용기준 이내

즉 정부측은 작업환경조사에서 추정된 폭로농도(참값, 대표값)가 하한값 이상의 신뢰구간(Lower confidence limit, LCL)에 포함될 때 허용기준을 초과하는 것으로 판단하며(그림 3에서 ㉠), 사업주측에서는 추정된 폭로농도가 상한값 이하의 신뢰구간(Upper confidence limit, UCL)에 포함될 때 허용기준을 초과하지 않는 것으로 판단하는 것이다(그림 3에서 ㉡). 그리고 과폭로 가능한 정부측에서는 하한값을 기준으로 추정된 폭로농도가 허용기준을 초과할 때(그림 3에서 B1), 사업주측은 상한값을 기준으로 추정된 폭로농도가 허용기준 이상일때(그림 3에서 B2) 과폭로 가능성이 있다고 판단한다. 이를 도식화하면 그림 3, 표 1과 같다.

## 2) 폭로농도의 8시간 시간가중평균치를 이용한 허용기준 판정 방법

### (1) 8시간 연속단일 시료의 경우

8시간 연속단일 시료에서 구한 측정값과 허용기준(STD)에서 8시간 시간가중평균치(이하 측정 평균치, TWA)를 구한 후, 측정 평균치를 허용기준으로 나누어 표준화한 농도(x)를 구한다.

즉,  $x = \text{TWA}/\text{STD}$  ( $x=1$ : 허용기준값)

신뢰구간에 대한 하한값이나 상한값을 다음과 같이 구한다.

$$\text{LCL}(95\%) = x - (1.645)(CV_T)$$

$$\text{UCL}(95\%) = x + (1.645)(CV_T)$$

단,  $CV_T$  = 변이 계수(정밀도)

하한값이나 상한값에 의해 추정한 값으로 정부측과 사업주측에서의 허용기준 초과여부를 판정하는 방법은 다음과 같다.

### ① 정부측

가. 허용기준 초과 :  $\text{LCL} > 1$ 인 경우

나. 과폭로 가능 :  $x > 1$ 이고  $\text{LUC} \leq 1$ 인 경우

다. 허용기준 이내 :  $x \leq 1$ 인 경우(통계처리가

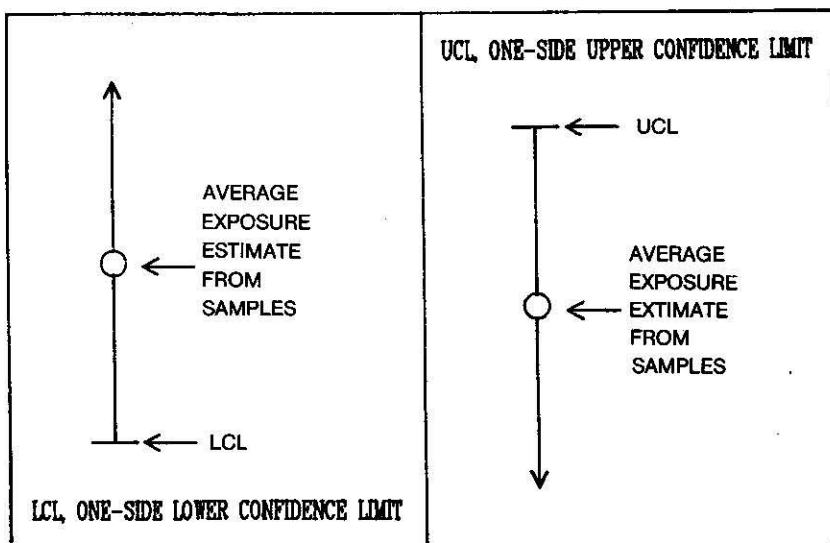


Fig. 2. Example of one-side LCL and UCL.

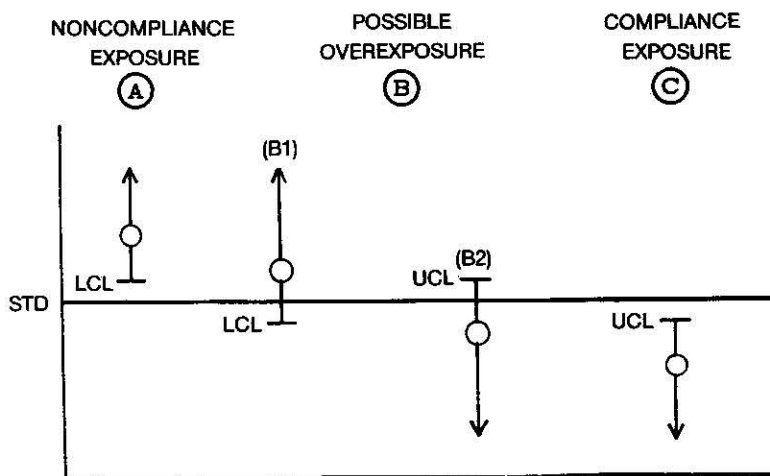


Fig. 3. Classification according to one-sided confidence limits.

Table 1. Classification system for employee exposure to contaminants

Classification	Definition	Statistical criterion
Ⓐ Noncompliance exposure	There is 95% confidence (based on measurements) that a worker's exposure is above the standard	$LCL \text{ (at 95\%)} > STD$
Ⓑ Possible overexposure	Any individual who cannot be classified in A or C	
Ⓒ Compliance exposure	There is 95% confidence (based on measurements) that a worker's exposure is below the standard	$UCL \text{ (at 95\%)} \leq STD$

Note: STD=standard

불필요)

## ② 사업주측

가. 허용기준 초과 :  $x > 1$ 인 경우 (통계처리가 불필요)

나. 과폭로 가능 :  $UCL > 1$ 인 경우

다. 허용기준 이내 :  $UCL \leq 1$ 인 경우

## (2) 8시간 연속분리 시료의 경우

8시간 연속분리 시료는 두 가지로 분류할 수 있는데 첫번째는 각 분리 시료를 포집하는 한 교대조 동안의 참값(평균 폭로농도)이 같다고 가정하는 경우로써 폭로가 균일한 경우이고, 두번째는 한 교대조 내의 폭로 상황이 달라서 폭로의 참값이 다른 것으로, 하루 동안의 폭로의 편차가 매우 큰 것으로 폭로가 균일하지 않은 경우이다. 이 경우 첫번째 경우의 판정 방법을 적용하게 되면 시간가중평균값을 구하는 과정에서 확률오차를 낮게 추정하게 되므로써 허용기준 이내로 결정할 확률이 크게 된다. 앞의 방법과 마찬가지로 각 측정값(X)에서 측정 평균치(TWA)를 구한 후 측정 평균치를 허용기준으로 나누어 표준화한 농도(x)를 구한다.

즉,  $x = TWA/STD$

다음에 하한값이나 상한값을 다음과 같이 구한다.

## ① 폭로가 균일한 경우

$$LCL(95\%) = x - (1.645)(CV_T) \sqrt{\sum Ti^2 / \sum Ti}$$

$$UCL(95\%) = x + (1.645)(CV_T) \sqrt{\sum Ti^2 / \sum Ti}$$

## ② 폭로가 균일하지 않은 경우

$$LCL(95\%) = x - \frac{(1.645)(CV_T) \sqrt{\sum Ti^2}}{(STD)(\sum Ti) \sqrt{1 + CV_T^2}}$$

$$UCL(95\%) = x + \frac{(1.645)(CV_T) \sqrt{\sum Ti^2}}{(STD)(\sum Ti) \sqrt{1 + CV_T^2}}$$

①, ②에서 하한값과 상한값으로 구한 추정치로 허용기준 초과여부를 8시간 연속단일 시료와 마찬가지로 방법으로 분류 판정한다(Leidel 등, 1977).

## III. 결과와 고찰

경기도 안산시 반월공단과 경남 창원시 창원공단내 제조사업장 중 입자상 물질에 최대로 폭로되는 용접 작업과 연삭 작업에 종사하는 근로자

Table 2. Exposure concentration of particulate according to unit process

Unit process	Operation of LEV	Cases	Mg mg/m <sup>3</sup>	$\sigma_g$	Mean mg/m <sup>3</sup>	S D mg/m <sup>3</sup>	Min mg/m <sup>3</sup>	Max mg/m <sup>3</sup>
Welding	Op	2	7.55	1.8	8.23	4.61	5.0	11.5
	NO	19	5.13	2.5	7.03	5.04	1.0	18.8
Grinding	Op	5	2.75	1.6	2.99	1.20	1.5	4.0
	NO	11	2.69	2.0	3.50	2.89	1.2	10.3
Welding-grinding	Op	—	—	—	—	—	—	—
	NO	7	4.79	1.7	5.28	2.41	2.4	7.9

Note : Op=Operating ; NO=Not operating ; LEV=Local exhaust ventilation

Mg=Geometric mean ;  $\sigma_g$ =Geometric standard deviation

S D =Arithmetic standard deviation ; Min=Minimum ; Max=Maximum

Table 3. Comparison of exposure concentration according to unit operation without operation of local exhaust ventilation

Unit process	Cases	Mean rank	Mean. mg/m <sup>3</sup>	S D , mg/m <sup>3</sup>
Arc welding	12	21.0	8.13	5.19
Grinding	5	10.6	2.99	1.20
Arc welding-grinding	7	16.9	5.28	2.41

$$x^2 = 7.66^*$$

\*p<0.05



를 대상으로 입자상 물질 폭로농도에 관한 조사 결과와, 용접 작업 근로자의 폭로농도에 통계적 접근방식을 적용한 경우와 국내 방식을 적용하여 구한 허용기준 초과율을 비교한 결과는 다음과 같다.

측정방법에서 8시간 연속분리측정과 8시간 연속단일측정 방법을 적용하였으나 8시간 연속분리 시료는 자료의 손실로 인하여 결과를 제시할 수 없었다.

## 1. 입자상 물질의 폭로농도

단위 공정의 개념에서 용접 작업과 연삭 작업은 단위 공정으로 분류할 수 있다. 다만 근로자의 작업량을 감안하였을 때 용접 작업과 연삭 작업이 거의 반반을 차지하는 작업은 용접·연삭 작업으로 분류하였다. 또한 단위 공정 중에서 단위 조작을 살펴 보면 조사 대상의 용접 작업을 전기용접, 가스용접으로 대별할 수 있다.

단위 공정 별 측정결과는 표 2와 같다.

단위 공정간의 차이가 있는가를 Kruskal-Wallis 검정한 결과, 표 3에 나타난 것과 같이 국소배기장치를 가동하지 않았을 때 전기용접, 용접·연삭, 연삭 작업에 근무하는 근로자는 폭로농도 간에는 통계적으로 유의한 차가 있는 것으로 나타났다( $\chi^2=7.66$ ,  $p<0.05$ ).

단위 공정에서 용접 작업의 입자상 물질 폭로농도는 대수정규분포를 하는 것으로 볼 수 있는데(Wal, 1990)국소배기장치를 가동하지 않은 경우에 본조사 결과도 대수정규분포를 보였으며, 기하평균이  $5.1\text{mg}/\text{m}^3$ 로 Wal이 조사한 결과(1990)와 유사한 값을 보이고 있으나 그 분포면에서는 Wal의 결과와는 달리 저농도의 비율이 높은 편이었는데 이는 근무 시간 동안의 용접 작업 시간의 차이에 의한 것으로 추정된다.

단위 공정에 따라 입자상 물질의 폭로농도 간에 차이가 있을 것으로 예상하였는데 국소배기장치를 가동하지 않은 경우에 차이가 있는 것으로 나타났으나, 국소배기장치를 가동하였을 때의 경우는 자료의 부족으로 폭로농도간의 차이를 검정하지 못하였으며 각 단위 공정 별로 국소배기장치를 가동여부에 의한 폭로농도 간의 차이를 검정하지 못하였다. 향후 국소배기장치의 가동 여

부에 의한 차이가 있는가를 검정할 필요가 있을 것이다.

단위 조작 측면에서 용접 공정을 전기용접과 가스용접으로 분류하였을 때의 측정 결과는 표 4와 같다.

용접 공정중 단위 조작의 관점에서 전기용접과 가스용접 근로자의 폭로농도 간에 차이가 있는가를 Mann-Whitney 검정으로 검정한 결과, 표 5와 같이 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $U=18$ ,  $0$ ,  $Z=-1.57$ ).

단위 조작 측면에서 전기용접과 가스용접의 차이가 없는 것으로 나타났는데 이는 일본 용접 작업에 관한 분진작업 환경조사 위원회의 결과(1985)와도 같은 경향을 보이고 있다.

## 2. 폭로농도의 허용기준 초과율 비교

측정방법과 허용기준 적용 방법의 초과 여부 판정 방법 중에서 8시간 연속분리 시료의 수가 부족하여, 8시간 연속단일 시료의 경우에 기술한 방법만으로 허용기준 초과율을 검토하고 현행 국내에서 사용하는 허용기준 초과율을 비교한 결과는 표 6과 같다.

앞에서 언급한 방법으로 허용기준 초과 여부에 대한 판정 결과는 표 6과 같이 정부측과 사업주측의 허용기준 초과와 허용기준 이내의 비율이 다른 것을 할 수 있다. 즉, 노동부의 현행 방식에 의하면 허용기준 초과율은 43%이고 허용기준 이내는 57%인 것에 비해, 통계적 방법을 적용하면 전체 정밀도를 5.6%로 가정하였을 때 정부측의 허용기준 초과율은 41%, 허용기준을 초과한다고 단정할 수 있는 비율이 2%의 차이가 발생하게 되며, 사업주측의 관점에서는 허용기준을 초과하지 않는 비율이 55%로, 현행 방식과 비교하였을 때 2%의 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

허용기준 판정방법에서 변이계수( $CV_T$ , 정밀도)에 따라 상한값이나 하한값에 영향을 미치므로 허용기준의 초과여부를 판단하는데 있어서 중요한 역할을 하게 되며 허용기준 초과여부를 단정할 수 있는 범위가 좁아지게 된다. 따라서 폭로농도를 측정하는 전과정에서 발생할 수 있는 변이계수의 변화에 따른 허용기준 초과율의 변화

**Table 4.** Exposure concentration of arc welders and gas welders

Unit process	Operation of LEV	Cases	Mg mg/m <sup>3</sup>	$\sigma g$	Mean mg/m <sup>3</sup>	S D mg/m <sup>3</sup>	Min mg/m <sup>3</sup>	Max mg/m <sup>3</sup>
Arc welding	Op	2	—	—	—	—	5.0	11.5
	NO	14	6.37	2.2	8.13	5.19	1.0	18.8
Gas welding	Op	—	—	—	—	—	—	—
	NO	5	2.85	2.6	3.96	3.28	1.0	8.8

Note: Op=Operating; NO=Not operating; LEV=Local exhaust ventilation

Mg=Geometric mean;  $\sigma g$ =Geometric standard deviation

S.D.=Arithmetic standard deviation; Min=Minimum; Max=Maximum

**Table 5.** Comparison of exposure concentration according to arc welders and gas welders type without operation of local exhaust ventilation

Welding type	Cases	Mean rank	Mean, mg/m <sup>3</sup>	S D, mg/m <sup>3</sup>
Arc welding	14	11.2	8.13	5.19
Gas welding	5	6.6	3.96	3.28
U=18.0			Z=-1.57	

**Table 6.** Comparison of noncompliance ratio of welders' exposure concentration according to Korean strategy and OSHA strategy

Strategy	Cases	Noncompliance	Possible overexposure	Compliance	
Korean	47	40.6		57.4	
OSHA + Officer's	47	40.4	2.1	57.4	
Employer's	47	42.6	2.1	55.3	
Mg, mg/m <sup>3</sup>	$\sigma g$	Mean, mg/m <sup>3</sup>	S D , mg/m <sup>3</sup>	Min, mg/m <sup>3</sup>	Max, mg/m <sup>3</sup>
3.38	3.22	5.48	4.69	0.05	18.8

Note: Standard=5mg/m<sup>3</sup> of welding fume

+CV<sub>T</sub>=total precision of sampling and analysis, 5.6% (Quoted from NIOSH Method 0500)

†Unit=percent(%)

**Table 7.** Comparison of noncompliance of welders' exposure concentration according to total precision of measurement

Precision CV <sub>T</sub> , %		Cases	Noncompliance %	Possible overexposure %	Compliance %
5.6+	Officer's	47	40.4	2.1	57.4
	Employer's	47	42.6	2.1	55.3
10 †	Officer's	47	36.2	6.4	57.4
	Employer's	47	42.6	8.5	48.9

Note: Standard=5mg/m<sup>3</sup> of welding fume

+5.6% quoted from NIOSH Method 0500.

†Assumed value



를 본 조사 결과에 적용한 결과를 예시하면 표 7과 같다.

표 7에서 정밀도를 5.6%와 10%로 구분한 것은 NIOSH Method 0500(1984)에서 규정한 5.6%의 정밀도를 적용한 것이고, 10%는 현재 국내의 실정에서 적용할 수 있다고 생각되는 정밀도를 가정한 것이다. 즉, 입자상 물질의 폭로농도를 측정하기 위하여 여자의 청량을 향한 흡입된 무진실(environmental chamber)에서 청량하지 못하는 경우와 sampler의 유량의 검량이나 유량 조정 기능 면에서 발생할 수 있는 오차 등을 감안하여 비교적 높은 질적관리(quality control)면에서 달성할 수 있는 정밀도로 가정한 것이다. 물론 모든 작업환경과 관련된 기관에서 10%미만이나 NIOSH에서 요구하는 수준의 정밀도를 유지할 수 없는 것은 아니나 현재의 투자 여건에서 작업환경 측정기관이 최대한의 노력을 하였을 때 달성 가능한 정밀도로 간주한 것이다.

표 7에서 나타난 것과 같이 정밀도가 5.6%에서 10%로 떨어지면 정부측의 허용기준 초과 비율이 40%에서 36%로 낮아지고, 사업주측의 허용기준 이내에 해당하는 비율이 55%에서 49%로 낮아진다. 반면에 허용기준에 대하여 단정할 수 없는 비율이 2%에서 9%로 증가하는 것으로 나타나고 있다.

따라서 정밀도가 낮아지면 허용기준 초과 여부에 대하여 단언할 수 있는 비율이 감소하고 판정(결정)할 수 없는 비율이 증가하는 것을 알 수 있으므로, 작업환경의 모든 조건이 동일하다고 가정하였을 때 측정기관에 따라서 다른 결과를 나타내거나 측정 시마다 측정 결과가 다르면 측정 결과를 활용하는 측면이나 법의 적용 측면에서 문제가 야기될 수 밖에 없다. 다시 말해서 작업환경을 개선하는 경우에 과거의 자료를 활용할 수 없게 되고 그 조사가 이루어진 이후의 시점에서 작업환경을 평가할 때 왜곡된 결과를 사용하게 되는 문제가 야기되며, 사업주측이나 근로자의 반발이 야기될 수 있기 때문에 측정기관에서는 정밀도를 높이도록 질적 관리에 더욱 노력할 필요가 있다.

본 조사 결과에서 충분한 자료를 얻지 못한 점이 있고 여기에서 제시한 방법이 절대적인 것은

아니므로 앞으로 이에 관한 연구와 국내 실정에 적합하고 비용이 절감될 수 있는 허용기준 초과 여부의 판정에 대한 방법을 연구하여야 할 것이다.

#### IV. 요 약

경기도 안산시 반월공단과 경남 창원시 창원공단내 제조사업장 중 입자상 물질에 최대폭로되는 용접 작업과 연삭 작업에 종사하는 근로자를 대상으로 입자상 물질 폭로 농도에 관한 조사결과에 통계적 접근방식을 적용한 경우와 국내의 방식을 적용하여 구한 허용기준 초과율을 비교한 결과를 요약하면 다음과 같다.

국소배기장치를 가동하지 않은 경우, 단위 공정(전기용접, 용접·연삭, 연삭 작업)별의 폭로농도 간에는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $\chi^2=7.66$ ,  $p<0.05$ ).

반면에 용접 공정중 단위 조작 측면에서는 전기용접과 가스용접 근로자의 폭로농도간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $U=18.0$ ,  $Z=-1.57$ ).

용접 작업 근로자의 폭로농도의 측정결과에 대한 허용기준을 비교하는데 있어서 국내 방식과 통계적 접근방식을 적용한 결과를 비교하면 전체 정밀도를 5.6%로 가정한 경우에는 허용기준 초과율이 2%의 차이가 나타났으며, 정밀도를 10%로 가정한 경우는 9%의 차이를 보였다.

따라서 측정자료의 정밀도에 따라 허용기준 초과율이 변하므로 작업환경 측정의 정밀도를 높이도록 질적관리를 할 필요가 있으며 앞으로 국내 실정에 적합한 허용기준 초과율에 대한 판정방법에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- 노동부 : 산업안전보건법(1990. 1. 13 법률 제4220호)
- 노동부 : 산업안전보건법 시행령(1990. 7. 14 대통령령 제13053호)
- 노동부 : 산업안전보건법 시행규칙(1990. 8. 11 노동부령 제63호)
- 노동부 : 유해물질의 허용농도(1991. 3. 1 노동부 고

시 제91-21호)

노동부:작업환경 측정방법(1991. 3. 1 노동부 고시 제91-20호)

溶接作業に関する粉じん 作業環境調査委員会:溶接作業に関する粉じん 作業環境調査報告書-粉じん作業に伴う粉じん障害の防止に関する 調査研究一, 東京, 中央労働災害防止協会, 1985, 19

通商産業省 立地公害局:鑛山における粉じん濃度測定マニュアル, 東京, 鑛業 労働災害防止協会, 1986, 18-19

Leidel AN, Buscch KA, Lynch JR: *Occupational exposure sampling strategy manual*. NIOSH 1977, 15, 19, 33-4, 40, 47, 49-50, 106-8.

NIOSH: *NIOSH Manual of analytical methods 3rd ed, vol 1, Method 0500*, US Department of Health, Education, and Welfare, DHHS Publ 84-100, 1984.

Wal Van Der JF: *Exposure of welders to fumes and gases in Dutch Industries: summary of results*. *Ann Occup Hyg* 1990; 34: 45-54