

작업환경의 측정 및 평가방법

배 귀 남
한국과학기술연구원
기전연구부 선임연구원

1. 머리말

산업화에 의한 경제발전으로 환경오염이 심각해짐에 따라 사람들의 환경에 대한 관심이 날로 높아지고 있다. 환경오염과 관련하여 현재 수질오염, 대기오염, 폐기물 처리, 토양오염 등이 주로 다루어지고 있다. 대기오염으로 대표되는 공기오염을 세부적으로 살펴보면, 공장, 자동차 등에서 배출되는 오염물질로 인한 대기 중의 공기오염 뿐만 아니라 주택, 사무실 등과 같은 실내공간, 지하상가, 지하철 역사 등의 지하공간, 반도체, 액정표시장치(LCD) 등과 같은 첨단 제품을 생산하기 위한 생산공간(cleanroom), 비행기, 선박, 자동차 등과 같은 운송공간, 그리고 용접, 도장작업 등을 수행하는 열악한 작업공간 등의 공기오염이 있다.

대기공간, 실내공간, 운송공간 등은 일반 사람들이 자주 접하는 공간으로 오염물질의 농도가 높지 않으며, 생산공간의 경우 제품의 정밀도에 따라 매우 엄격하게 오염물질을 제어하고 있는 반면에, 작업공간은 일상적인 작업시에 오염물질이 고농도로 발생하므로 근로자의 건강에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 이러한 작업공간의 공기오염은 특정한 근로자에게만 해당

되므로 일반 사람들의 관심을 끌지 못하나, 직업병의 예방과 같이 근로자의 건강유지 측면에서 반드시 고려되어야 한다.

국내의 경우 산업재해방지 측면에서 “산업안전보건법”에 작업환경에 대한 사항을 법적으로 규정하고 있다. 이 법을 근거로 노동부에서는 작업환경측정과 관련하여 “작업환경측정 실시규정”, “작업환경측정에 관한 정도 관리규정” 및 “유해물질의 허용농도”를 제정하여 실제 작업장의 환경측정 및 관리에 사용하고 있다.

본 고에서는 공기오염과 관련되는 분진, 가스상 유해물질을 중심으로 국내 및 일본의 작업환경측정 및 평가에 관한 내용을 살펴보고, 일본에서 수행된 공기중 분진농도와 가스농도 측정 및 평가 사례를 소개하고자 한다.

2. 작업환경의 측정 및 평가방법

2.1 국내의 경우

우리나라는 산업재해방지 및 근로자의 건강유지 측면에서 “산업안전보건법”에 작업환경에 대한 사항을 법적으로 규정하고 있다. 이 법을 근거로 노동부에서는 1983년에 “작업환경 측정방법”을 제정하여 사용하다가 1986년

에 이 규정을 개정하면서 이와 관련하여 “유해물질의 허용농도”에 관한 규정도 제정하였다. “작업환경 측정방법”은 1988년, 1991년에 다시 개정되었다가 1992년에 전면적으로 내용이 개편되어 폐지되고, 새로이 “작업환경측정 실시규정”과 “작업환경측정에 관한 정도 관리규정”이 제정되었다. 이 두 규정은 매년 개정되어 현재는 1995년 7월 18일에 개정된 규정을 사용하고 있다(노동부 고시 제95-25호와 제95-26호). 또한, “유해물질의 허용농도”에 관한 규정은 1988년과 1991년에 개정되어 현재에 이르고 있다(노동부 고시 제91-21호).

산업안전보건법 제2조에 의하면 “작업환경 측정”이라 함은 작업환경의 실태를 파악하기 위하여 해당 근로자 또는 작업장에 대하여 사업주가 측정계획을 수립하여 시료의 채취 및 그 분석·평가를 하는 것을 말한다.

작업환경측정 대상으로는 다음과 같은 작업장이 해당된다. ① 분진이 현저하게 발산되는 옥내 작업장(갱내를 포함한다. 이하 같다). ② 연염무를 행하는 옥내 작업장. ③ 4알킬렌 업무를 행하는 옥내 작업장. ④ 유기용제 업무를 행하는 옥내 작업장. ⑤ 특정화학물질 등을 취급하는 옥내 작업장. ⑥ 산소결핍 위험이 있는 작업장. ⑦ 강렬한 소음이 발생하는 옥내 작업장. ⑧ 고열·한냉 또는 다습한 옥내 작업장. ⑨ 코우크스를 제조 또는 사용하는 작업장. ⑩ 기타 노동부장관이 정하는 유해화학물질을 취급 또는 제조하는 옥내 작업장.

작업환경측정 실시에 관하여 필요한 사항은 작업환경측정 실시규정(노동부 고시 제95-25호)에 명시되어 있다. 이 규정은 전부 8장으로 구성되어 있는데, 제1장 총칙에는 목적과 용어의 정의가 규정되어 있다. 이외에 작업환경 측

정심의 및 측정자의 자격, 작업환경 측정기관의 지정, 유해인자별 작업환경 전문연구기관, 작업환경 측정방법, 측정결과 조치, 감독 및 지도, 작업환경 측정횟수의 조정 등이 규정되어 있다. 그리고 별표에 측정농도의 평가방법이, 부록에 화학물질의 시료포집 분석오차(SAE), 소음폭로량(%)과 8hr-TWA 사이의 변환이 수록되어 있다.

본 고에서는 단위작업장소에서 공기오염과 관련되는 유해물질의 측정방법에 대해서만 소개하고자 한다. 여기서, “단위작업장소”라 함은 작업환경 측정대상이 되는 작업장 또는 공정에서 정상적인 작업을 수행하는 동일 노출집단의 근로자를 대상으로 근로자의 호흡위치 및 행동범위내에서 유해물질의 노출상태를 고려하여 정한 작업장소를 말한다. 작업환경 측정방법에는 공통적으로 해당되는 측정방법 및 단위와 다양한 유해물질(분진 및 흙, 유기용제 및 특정화학물질의 가스, 증기, 미스트, 소음, 연, 산소, 온도 등)의 측정방법, 측정기기, 측정위치 및 측정횟수에 대하여 규정하고 있다.

2.1.1 작업환경 측정시 공통사항

작업환경 측정시 공통적인 적용사항으로 측정방법, 측정실시시기, 측정시간, 시료포집 근로자수, 단위 등을 규정하고 있다. 작업환경 측정시에는 원칙적으로 개인시료 포집방법을 사용한다. 다만, 유해물질 발생원 파악, 작업환경 개선의 효과측정 및 개인시료포집이 불가능한 경우에는 지역시료 포집방법을 사용할 수 있다. 여기서, “개인시료포집”이라 함은 개인시료 채취기를 이용하여 가스, 증기, 미스트, 흙 또는 분진 등을 근로자의 호흡위치(호흡기를 중심으로 반경 30cm인 반구)에서 포집하는 것을 말한다. 또, “지역시료포집”이라 함은 시료

채취기를 이용하여 가스, 증기, 미스트, 흠 또는 분진 등을 근로자의 작업행동 범위에서 호흡기 높이에 고정하여 포집하는 것을 말한다.

측정은 작업과 설비가 정상적으로 가동되어 작업시간과 근로자의 노출을 정확히 평가할 수 있을 때 실시하여야 한다. 대상작업장중 6개월에 1회 이상 측정을 실시하여야 하는 작업장의 측정실시 시기는 전회 측정을 완료한 날부터 3개월 이상 간격을 두어야 한다.

측정은 1일 작업시간 동안 6시간 이상 연속 측정하거나 작업시간을 등간격으로 나누어 6시간 이상 연속분리 측정하여야 하며, 다음의 경우에는 예외로 할 수 있다. ① 해당 사업장의 측정결과에 지장을 초래하지 않는 범위내에서 노·사 합의하에 측정자의 판단에 의하여 측정시간을 조정할 수 있다. ② 1일 작업시간중 대상물질의 발생시간이 6시간 이하이거나 불규칙 작업으로 6시간 이하의 작업 또는 발생원에서의 발생시간이 간헐적인 경우에는 발생시간 동안 연속 측정하여야 한다. ③ 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준에 단시간 노출기준(STEL)이 설정되어 있는 대상물질로서 단시간 고농도에 노출될 경우에는 1회에 15분간, 1시간 이상의 등간격으로 4회 이상 단시간 측정할 수 있다. 여기서, “노출기준”이라 함은 근로자가 어떤 유해요인에 노출되는 경우 거의 모든 근로자에게 건강상 나쁜 영향을 미치지 아니하는 정도의 기준을 말한다.

단위작업장소에서 최고 노출 근로자 2인 이상에 대하여 동시에 측정하여야 하며 동일 작업 근로자수가 10인 이상인 경우에는 매 5인당 1인(1개 지점) 이상 추가 측정하되, 측정자 판단에 의하여 그 수를 조정할 수 있다. 지역시료 포집방법을 사용하는 경우 측정시료의 개

수는 단위작업장소에서 2개 이상에 대하여 동시에 측정하여야 한다.

한편, 사업주의 자율적인 작업환경개선을 유도하기 위하여 다음에 해당되지 않는 측정대상 유해물질 및 인자에 대해서는 작업환경상태에 따라 측정횟수를 조정할 수 있도록 하였다. ① 작업환경 측정대상인 발암성 및 발암성 추정물질. ② 금속: 수은, 납(납땀작업은 제외), 크롬, 카드뮴, 망간, 비소, 니켈, 베릴륨. ③ 기타 노동부장관이 정하는 물질. 그리고 화학물질(분진 포함)에 대한 측정횟수 조정은 표 1과 같다.

표 1. 화학물질(분진 포함)에 대한 측정횟수 조정

화학물질의 노출수준	횟수 조정 내용
노출기준 50% 이상~100% 미만	1회/년
노출기준 50% 미만	측정유예(1회/3년)

화학물질의 가스, 증기, 미스트, 흠 등의 농도단위로 ppm 또는 mg/m³를 사용하고, 이들의 상호농도변환은 다음 식 (1)에 의한다. 분진의 농도는 mg/m³로 표시한다. 다만, 석면의 농도 표시는 개수/cm³로 표시한다.

$$\text{노출기준}(mg/m^3) = \frac{\text{노출기준}(ppm) \times \text{그램분자량}}{24.45(25^\circ\text{C}, 1\text{기압})} \quad (1)$$

2.1.2 분진 및 흠의 측정방법

단위작업장소에서 분진 및 흠의 농도는 다음과 같이 측정한다. ① 석면분진의 농도는 여과포집방법에 의한 계수방법으로 측정한다. ② 석면분진을 제외한 분진 및 흠에 대

한 농도는 여과포집방법에 의한 중량분석방법이나 유해물질 종류에 따른 적합한 분석방법으로 측정한다. ③ 호흡성 분진은 분립장치 또는 호흡성 분진을 포집할 수 있는 기기를 이용한 여과포집방법으로 측정한다. 여기서, “여과포집방법”이라 함은 시료공기를 여과재를 통하여 흡인함으로써 해당 여과재에 측정하고자 하는 물질을 포집하는 방법을 말한다. 또, “호흡성 분진”이라 함은 호흡기를 통하여 폐포에 축적될 수 있는 크기의 분진을 말한다.

여과포집방법으로 분진농도를 측정하는 경우에는 개인시료 채취기를 사용하여야 한다. 다만, 앞에서 언급한 바와 같이 특별한 경우에는 지역시료 채취기를 사용할 수 있다. 개인시료 채취기를 사용하는 경우에는 측정기기를 작업 근로자의 호흡기 위치에 장착하여야 하며, 지역시료 채취기의 경우에는 측정기기를 분진 발생원에 근접한 위치 또는 작업 근로자의 주 작업행동 범위내의 작업 근로자 호흡기 높이에 설치하여야 한다.

2.1.3 유기용제 및 특정화학물질의 가스, 증기, 미스트 등의 측정방법

단위작업장소에서 유기용제 및 특정화학물질의 가스, 증기, 미스트 등의 측정은 개인시료 채취기 또는 이와 동등 이상의 특성을 지닌 측정기기를 사용하여 규정된 포집방법(액체포집방법, 고체포집방법, 직접포집방법, 냉각응축포집방법)에 따라 시료를 채취한 후 흡광광도분석, 원자흡광분석, 가스크로마토그래프 분석 또는 이와 동등 이상의 분석방법으로 정량분석하는 것을 원칙으로 하되 다음의 경우에는 검지관 방식으로 측정할 수 있

다. ① 예비조사 목적인 경우. ② 검지관 방식외에 다른 측정방법이 없는 경우. ③ 발생하는 유해물질이 단일물질인 경우(다만, 보건관리자가 측정하는 사업장에 한한다). 여기서, “액체포집방법”이라 함은 시료공기를 액체중에 통과시키거나 액체의 표면과 접촉시켜 용해·반응·흡수·충돌 등을 일으키게 하여 해당 액체에 측정하고자 하는 물질을 포집하는 방법을 말하고, “고체포집방법”이라 함은 시료공기를 고체의 입자층을 통해 흡입, 흡착하여 해당 고체입자에 측정하고자 하는 물질을 포집하는 방법을 말하며, “직접포집방법”이라 함은 시료공기를 흡수, 흡착 등의 과정을 거치지 아니하고 직접포집대 또는 진공포집병 등의 포집용기에 물질을 포집하는 방법을 말한다. 그리고 “냉각응축포집방법”이라 함은 시료공기를 냉각된 관 등에 접촉 응축시켜 측정하고자 하는 물질을 포집하는 방법을 말한다.

보건관리자로서 산업위생관리기사 2급 이상 자격증을 소유한 작업환경측정 실무경력 2년 이상인 자가 해당 사업장에 대하여 검지관 방식으로 측정을 실시하는 경우 사업주는 2년에 1회 이상 외부지정 측정기관에 의뢰하여 유기용제 및 특정화학물질의 가스, 증기, 미스트 등의 측정을 실시하여야 한다. 검지관 방식의 측정결과가 노출기준을 초과하는 것으로 나타난 경우에는 즉시 재측정을 하여야 하며, 해당 사업장에 대해서는 측정치가 노출기준 이하로 나타날 때까지는 검지관 방식으로 측정할 수 없다.

검지관 방식으로 측정하는 경우에는 해당 작업 근로자의 호흡기 및 유해물질 발생원에 근접한 위치 또는 근로자 작업행동범위의 주

작업 위치에서의 근로자 호흡기 높이에서 측정하여야 한다. 유해물질 등을 검지관 방식으로 측정하는 경우에는 1일 작업시간 동안 1시간 간격으로 6회 이상 측정하되 매 측정시간 마다 2회 이상 반복측정하여 평균값을 산출하여야 한다. 다만, 유해물질의 발생시간이 6시간 이내일 때에는 작업시간 동안 1시간 간격으로 나누어 측정하여야 한다.

2.1.4 유해물질의 허용농도

인체에 유해한 화학물질의 가스, 증기, 미스트 및 흠이나 분진, 소음 및 고온에 대하여 근로자의 보건상 유해하지 아니한 기준을 정함으로써 유해요인으로부터 근로자의 건강을 보호하기 위하여 유해물질의 허용농도(노동부 고시 제91-21호)가 제정되어 사용되고 있다. 여기서, “허용농도”라 함은 근로자가 유해요인에 노출되는 경우 허용농도 이하 수준에서는 거의 모든 근로자에게 건강상 나쁜 영향을 미치지 아니하는 농도를 말하며, 1일 작업시간 동안의 시간가중 평균농도(Time Weighted Average, TWA), 단시간 노출 허용농도(Short Term Exposure Limit, STEL) 또는 최고허용농도(Ceiling, C)로 표시한다. “시간가중 평균농도(TWA)”라 함은 1일 8시간 작업을 기준으로 하여 유해요인의 측정농도에 발생시간을 곱하여 8시간으로 나눈 농도를 말하며 산출공식은 다음과 같다.

$$TWA \text{ 농도} = \frac{C_1 \cdot T_1 + C_2 \cdot T_2 + \dots + C_n \cdot T_n}{8} \quad (2)$$

여기서, C는 유해요인의 측정농도이고, T는 유해요인의 발생시간이다.

또한, “단시간 노출 허용농도(STEL)”

라 함은 근로자가 1회에 15분간 유해요인에 노출되는 경우의 허용농도로 이 농도 이하에서는 1회 노출간격이 1시간 이상인 경우 1일 작업시간 동안 4회까지 노출이 허용될 수 있는 농도를 말한다. “최고허용농도(C)”라 함은 근로자가 1일 작업시간 동안 잠시라도 노출되어서는 아니되는 최고허용농도를 말하며, 허용농도 앞에 “C”를 붙여 표시한다.

697종의 화학물질에 대한 허용농도(TWA와 STEL)가 규정되어 있고, 각종 발암성 물질에 대하여도 허용농도를 규정하고 있다. 화학물질이 2종 이상 혼재하는 경우 혼재하는 물질의 유해성이 인체의 서로 다른 부위에 작용한다는 증거가 없는 한 유해작용은 가중되므로, 허용농도는 다음 식에 의하여 산출되는 수치가 1을 초과하지 아니하는 것으로 한다.

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \quad (3)$$

여기서, C는 화학물질 각각의 측정농도이고, T는 화학물질 각각의 허용농도이다. 이러한 경우와는 달리 혼재하는 물질의 유해성이 인체의 서로 다른 부위에 유해작용을 일으키는 경우에는 유해성이 각각 작용하므로, 혼재하는 물질중 어느 한 가지라도 허용기준을 초과하는 것으로 한다.

분진에 대해서는 총분진(Total Dust)과 호흡성 분진(Respirable Dust)으로 나누어 분진종류별로 허용농도를 표 2 및 3과 같이 규정하고 있다. 용접 또는

용단시 발생되는 용접흙이나 분진의 허용농도는 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 로 한다. 다만, 용접 또는 용단시 발생되는 유해가스나 증기는 별도로 각각의 허용농도를 사용한다.

표 2. 총분진의 허용농도

분진의 종류		허용농도
제1종 분진		$2\text{mg}/\text{m}^3$
제2종 분진		$5\text{mg}/\text{m}^3$
제3종 분진		$10\text{mg}/\text{m}^3$
석면 및 기타 분진	석면 (길이 5 m 이상)	$0.2\sim 2\text{개}/\text{cm}^3$
	면분진	$0.2\text{mg}/\text{cm}^3$
	소우프스톤 (soap stone)	$6\text{mg}/\text{cm}^3$

표 3. 호흡성 분진의 허용농도

분진의 종류	허용농도(mg/m^3)
석탄분진	2
천연흑연	2.5
파라쿼트 (paraquat)	0.1
실리카 결정체 (silica crystalline)	0.05~0.1
트리다마이트	0.05
트리폴리	0.1
소우프스톤 (soap stone)	3
활석 (talc, 석면비함유)	2
바나듐 분진 및 흙 (vanadium dust and fume)	0.05
카드뮴 분진 및 염 (cadmium dust and salt, as Cd)	0.5

2.1.5 측정농도의 평가방법

작업환경측정 실시규정의 별표 1에 측정농도의 평가방법이 다음과 같이 규정되어 있다.

(1) 측정농도의 대표값 계산

가. 대수(기하)정규분포시 기하평균과 기하

표준편차를 구하는 방법은 다음과 같다.

방법 1: 대수를 이용하는 방법

- ① 측정자료를 구한다: $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$
- ② 이를 대수로 변환한다: $\log X_1, \log X_2, \log X_3, \dots, \log X_n$
- ③ 대수 변환치의 평균을 구한다.
- ④ 대수 변환치의 표준편차를 구한다.
- ⑤ 기하평균을 구하기 위해 ③에서 구한 값에 역대수로 재변환한다.
- ⑥ 기하표준편차를 구하기 위해 ④에서 구한 값에 역대수로 재변환한다.

방법 2: 그래프를 이용하는 방법

- ① 대수확률지에 측정자료를 도시한다. 이때 직선이 나타나면 기하정규분포를 한다고 판단한다.
- ② 이 직선의 50%에 해당하는 종축값이 기하평균이다.
- ③ 84.1% 및 15.9%의 종축값을 구한다.
- ④ 기하표준편차는 다음처럼 구한다.

$$\text{기하표준편차} = \frac{84.1\% \text{ 값}}{50\% \text{ 값}} \text{ 또는 } \frac{50\% \text{ 값}}{15.9\% \text{ 값}} \quad (4)$$

나. 측정농도가 노출기준을 초과할 확률은 다음과 같이 계산한다.

- ① 노출기준을 대수로 변환한다.
- ② 다음 통계량을 계산한다.

$$\frac{\text{노출기준의 대수값} - \text{평균의 대수값}}{\text{표준편차의 대수값}} \quad (5)$$

- ③ 위에서 계산한 통계량에 표준정규분포표에서 해당하는 면적을 찾아서 노출기준을 초과할 확률을 계산한다.

(2) 측정결과의 평가

가. 작업시간 전체를 1개의 시료로 측정할 경우

① 측정농도(X), 노출기준(TWA) 및 시료포집 분석오차(Sampling and Analytical Error, SAE)를 구한다. 각종 화학물질의 시료포집 분석오차는 작업환경 실시규정의 부록 1에 명시되어 있다.

② 측정농도를 노출기준으로 나누어 표준화한 값(Y)을 구한다.

$$Y(\text{표준화 값}) = \frac{X(\text{측정농도})}{TWA(\text{노출기준})} \quad (6)$$

③ 95%의 신뢰도를 가진 상한치(Upper Confidence Limit, UCL)를 계산한다.

$$\text{상한치}(UCL) = Y + SAE \quad (7)$$

④ 95%의 신뢰도를 가진 하한치(Lower Confidence Limit, LCL)를 계산한다.

$$\text{하한치}(LCL) = Y - SAE \quad (8)$$

⑤ 다음과 같이 노출결과를 구분한다.

- 상한치 ≤ 1일 때 노출기준 미만
- 하한치 ≤, 상한치 > 1일 때 노출기준 초과 가능
- 하한치 > 1일 때 노출기준 초과

나. 작업시간 전체를 측정하되 시료를 여러번 나누어 채취할 경우

① 작업시간 동안에 걸쳐 얻어진 연속적인 n개 시료의 분석결과(X_1, X_2, \dots, X_n)와 채취 시간(T_1, T_2, \dots, T_n) 및 시료포집 분석오차를 준비한다.

② 전체 시료에 대한 시간가중 평균농도를 구한다.

③ 표준화한 값 Y를 구하기 위해 X를 노출기준으로 나눈다.

$$Y(\text{표준화 값}) = \frac{X(\text{시간가중측정농도})}{TWA(\text{노출기준})} \quad (9)$$

④ 95%의 신뢰도를 가진 상한치(UCL)를 계산한다.

$$\text{상한치}(UCL) = Y + SAE \quad (10)$$

⑤ 95%의 신뢰도를 가진 하한치(LCL)를 계산한다.

$$\text{하한치}(LCL) = Y - SAE \quad (11)$$

⑥ 다음과 같이 노출결과를 구분한다.

- 상한치 ≤ 1일 때 노출기준 미만
- 하한치 ≤, 상한치 > 1일 때 노출기준 초과 가능
- 하한치 > 1일 때 노출기준 초과

⑦ 만약 하한치 ≤ 1, 상한치 > 1인 경우 하한치(LCL)를 다시 계산한다.

$$LCL = Y - \frac{SAE \sqrt{T_1^2 X_1^2 + T_2^2 X_2^2 + \dots + T_n^2 X_n^2}}{TWA(T_1 + T_2 + \dots + T_n)} \quad (12)$$

다. 작업시간 일부에 대한 n개 측정치(Partial Period Consecutive Samples)가 있을 경우

① 하한 및 표준화 값 Y를 나.의 방법으로 계산한다.

② 부분적인 측정치에 대한 노출기준(Partial Period Limit, PPL)을 다음 식으로 구한다.

$$PPL = \frac{8\text{시간}}{\text{자료채취시간}} \quad (13)$$

③ n개의 시료에 대해 다음과 같이 노출기준 초과 여부를 판단한다.

- 하한치 > PPL일 때 노출기준 초과
- $Y > PPL$, 하한치 $\leq PPL$ 일 때 노출기준 초과 가능
- $Y \leq PPL$ 일 때 통계적 방법 이용불가

(3) 혼합물에 대한 평가

① 혼합물질중에서 각각 해당물질에 대한 측정결과(X)와 노출기준 및 시료포집 분석 오차를 구한다.

② 표준화 값을 해당물질별로 구한다.

$$Y_n = \frac{X_n}{TWA_n} \quad (14)$$

③ 혼합물의 노출계수를 구한다.

$$Y_n = \left(\frac{X_1}{TWA_1} + \frac{X_2}{TWA_2} + \dots + \frac{X_n}{TWA_n} \right) \quad (15)$$

④ 총노출율을 구한다.

$$R_1 = \frac{Y_1}{E_m}, \dots, R_n = \frac{Y_n}{E_m} \quad (16)$$

⑤ 혼합물을 포함하는 물질의 시료분석 포집 오차를 구한다.

$$RS_n = [(R_1^2 \times SAE_1^2) + (R_2^2 \times SAE_2^2) + \dots + R_n^2 \times SAE_n^{2(1/2)}] \quad (17)$$

⑥ 혼합물의 노출기준(Control Limit, CL)을 구한다.

$$CL = 1 + RS_n \quad (18)$$

⑦ 다음과 같이 노출결과를 구분한다.

- $E_m \leq CL$: 노출기준 미만
- $E_m > 1, E_m > CL$: 노출기준 초과

2.1.6 측정농도 평가에 따른 조치

사업주는 작업환경측정 실시규정에 따라 측정농도를 평가하였을 때는 가능한 한 노출 결과에 따라 표 4에서 정하는 바에 따른 조치를 강구하여야 한다.

표 4. 노출결과에 따라 강구해야 할 조치

노출결과	강구해야 할 조치
노출기준 미만	현재의 작업상태 유지
노출기준 초과 가능 (Possible Overexposure)	재측정, 시설·설비 등 작업방법의 점검후 개선 및 적정 보호구 지급
노출기준 초과	시설·설비 등에 대한 개선대책 수립 시행 및 적정 보호구 지급

2.1.7 작업환경측정의 정도관리

작업환경측정의 신뢰도를 제고하기 위하여 대상기관별 측정분석치 및 측정분석자에 대한 정도관리에 관하여 필요한 사항을 작업환경측정에 관한 정도 관리규정(노동부 고시 제95-26호)에 명시하고 있다. 여기서, “정도관리”라 함은 정도관리 실시기관이 대상기관의 작업환경측정·분석치에 대한 정확도와 정밀도를 확보하기 위하여 통계적 처리를 통한 일정한 신뢰한계 내에서 측정·분석치를 관리하는 모든 수단을 말한다. “정확도”라 함은 분석치가 참값에 얼마나 접근하였는가 하는 수치상의 표현이다. 그리고, “정밀도”라 함은 일정한 물질에 대해 반복측정·분석하였을 때 나타나는 자료분석치의 변동크기가 얼마나

작은가를 말한다.

정도관리 실시기관으로 한국산업안전공단 산보건연구원이 지정되어 있다. 실시기관에서는 ① 정도관리 운영계획의 수립 ② 분석방법의 표준화 도모 ③ 관리기준 설정 ④ 정도관리를 위한 시료조제 및 분배 ⑤ 정도관리용 시료분석 ⑥ 분석시료의 객관적인 분석능력 평가 ⑦ 기관간 분석자료 수집 및 결과 통보 ⑧ 시료의 교환 및 분석 ⑨ 정도관리 운영계획에 필요한 서식 작성 ⑩ 대상기관에 대한 교육 등을 수행한다. 실시기관은 연간 세부계획을 수립하여 대상기관에 대한 정도관리를 실시하고 그 결과에 대한 평가 및 사후관리를 하여야 한다. 정도관리는 정기 정도관리와 임시 정도관리로 구분하며, 실시기관은 대상기관에 대하여 정도관리를 매년 상반기와 하반기로 나누어 각 1회 이상 실시한다.

2.2 일본의 경우

실내 작업장에서 근로자는 분진, 가스, 증기의 화학적 유해물질 및 전리방사선, 비전리방사선, 온습도, 기압, 진동 등의 물리적 유해인자 또는 생물학적 및 사회적 요인(근로조건, 인간관계)이 있는 환경에서 작업을 수행하며, 업무상 어떤 건강상의 영향을 받는 경우가 있고, 최악의 경우에는 죽게 되는 경우도 있다. 일본의 노동안전위생법은 이러한 작업환경에 기인하는 건강영향 및 직업병의 발생을 예방하고, 근로자의 위험방지대책을 추진하여 쾌적한 작업환경의 형성을 촉진하는 것을 목적으로 제정되었다.

노동안전위생법의 제65조에는 작업환경관리, 작업관리 및 건강관리를 3가지 축으로

하여 노동위생관리를 적절히 하기 위해서 작업환경관리의 주체가 되는 작업환경측정을 반드시 실시하도록 사업자에게 의무로 부과하고 있다. 작업환경 측정법은 작업환경 측정사의 자격, 작업환경 측정기관에 필요한 사항을 규정하고 있으며, 적절한 작업환경을 확보하여 직장에서 근로자의 건강을 유지하는 것을 목적으로 정해졌다.

2.2.1 작업환경 측정방법

작업환경측정은 작업장의 실태를 정확히 반영하도록 실시할 필요가 있으며, 객관성이 있고 일정한 정확도를 확보하여야 한다. 그러므로, 일본의 노동안전위생법 제65조 제2항에는 작업환경측정은 노동장관이 정한 “작업환경 측정기준”에 따라 실시하여야 한다고 규정하고 있다. 작업환경 측정기준은 측정을 하여야 하는 대상마다 ① 단위작업장소의 설정방법 ② 측정점의 측정방법 ③ 측정시간 및 측정시간의 선정방법 ④ 샘플링 방법 ⑤ 측정기기의 종류 등에 대하여 규정하고 있다.

(1) 측정의 종류

작업환경측정은 크게 단위작업장소내 유해물질의 농도 평균적인 분포를 알기 위한 A 측정과 작업자가 유해물질의 발생원에 매우 가까운 곳에서 작업하는 경우나 간헐적으로 대량의 유해물질이 발생하는 작업이 있는 경우와 같이 A 측정결과만으로는 작업자가 노출될 위험이 있는 고농도를 예측할 수 없는 경우에 단위작업장소의 유해물질의 발생원에 근접한 작업위치에서 최고 농도를 알기 위한 B 측정으로 나뉜다.

(2) 단위작업장소의 설정

단위작업장소란 작업환경을 측정하는데 필요한 구역을 말하며, 그 범위는 근로자의 작업중 행동범위, 유해물질의 분포 등의 상황을 근거로 정한다. 단위작업장소는 건축물, 직제, 생산 등의 작업단위가 아니고, 측정사가 측정하기 위해 설정하는 곳이며, 적절한 설정 여부에 따라 측정결과에 미치는 영향이 크고, 평가도 변하게 된다.

작업환경의 평가는 단위작업장소에서 유해물질마다 실시되고, 복수의 유해물질이 있을 때는 각각에 대하여 평가한다. 다만, 혼합유기용제에 대해서는 각 물질의 관리농도와 측정값의 비를 더한 환산값으로 평가한다. 동일장소에서도 유해물질의 농도가 시간에 따라 현저하게 변화하는 경우는 다른 단위작업장소에서 측정하여야 한다.

(3) A 측정점의 설정

단위작업장소에서 측정사의 의견이 개입되지 않도록 등간격 계통추출법에 의해 5개 이상의 측정점을 정한다. 원칙은 바닥면에 6m 이하의 등간격의 종횡선을 그어 교차점을 측정점으로 하는데, 근로자의 행동범위를 고려하고 장치, 설비, 원재료나 제품의 설치장소는 보통 근로자가 들어가지 않으므로 측정점으로 하지 않는다. 측정점의 높이는 바닥위 50~150cm이고, 샘플링 시간은 한 측정점을 10분간 이상으로 하여 한 단위작업장소에서 샘플링 시간은 샘플링 시작부터 마지막 샘플링까지 1시간 이상으로 한다.

(4) B 측정

B 측정은 A 측정과 동일한 단위작업장소에서 생산공정, 작업방법 및 유해물질의 발생상황으로부터 작업환경 측정사가 판단하여

근로자가 노출될 위험성이 높다고 생각되는 장소와 시간을 선정하여 실시하는 측정이다. 그러므로, A 측정의 측정점 설정과 달리 측정사 개인의 의사가 개입된다. A 측정만으로는 간과될 수 있다고 생각되는 경우에는 B 측정을 실시하여 A 측정을 보완하는 것이다.

B 측정은 ① 유해물질의 발생원이 있는 장치나 설비 근처에 근로자가 고정하여 작업을 수행하는 경우 ② 유해물질의 발생원과 함께 이동하면서 작업을 수행하는 경우 ③ 유해물질의 발생을 동반하는 원재료의 투입이나 점검을 위한 작업으로 간헐적으로 수행하는 작업이 있는 경우에 실시한다.

B 측정의 샘플링 시간은 10분간이다. 계속 시간은 10분간 미만이어도 샘플링은 10분간 실시한다.

(5) 측정일과 측정시간대

작업환경측정은 6개월 이내마다 실시하여야 한다. 측정은 연속하는 2일간을 원칙으로 하지만, 사정에 의해 하루만 측정할 수도 있다. 시간대에 따라 발생하는 유해물질의 종류가 다른 경우에는 당연히 2 단위작업장소에서 측정하여야 한다.

2.2.2 측정결과에의 평가

작업환경 평가기준은 작업환경측정을 실시한 작업장내 분진, 특정 화학물질, 납 및 유기용제와 관련되는 것에 적용된다. 공기중 유해물질의 농도는 공간적, 시간적으로 크게 변동하지만, 그 분포는 거의 대수정규분포(농도의 대수분포가 정규분포로 되는 것)로 되는 것이 경험적으로 밝혀지고 있다. 이것은 작업환경 측정을 위해 필요한 구역(단위

작업장소)에서 임의적으로 추출한 측정점에서 공기중 유해물질농도의 대수로부터 통계적으로 단위작업장소의 전반적인 상황을 파악하는 것이 가능함을 의미한다. 그래서 작업환경의 평가에서는 작업환경 측정결과를 통계적으로 처리하여 작업환경 실태를 유해물질의 공기중 농도의 평균과 변동의 크기로

부터 종합적으로 판단하는 방법이 채택되고 있다.

작업환경 측정결과와 평가순서를 그림 1에 나타냈다. 이 평가에 필요한 데이터는 관리농도, 제1평가값, 제2평가값 및 B 측정을 실시한 경우에는 B 측정값이다. 이들 값을 사용하여 표 5에 의한 관리구분을 결정한다.

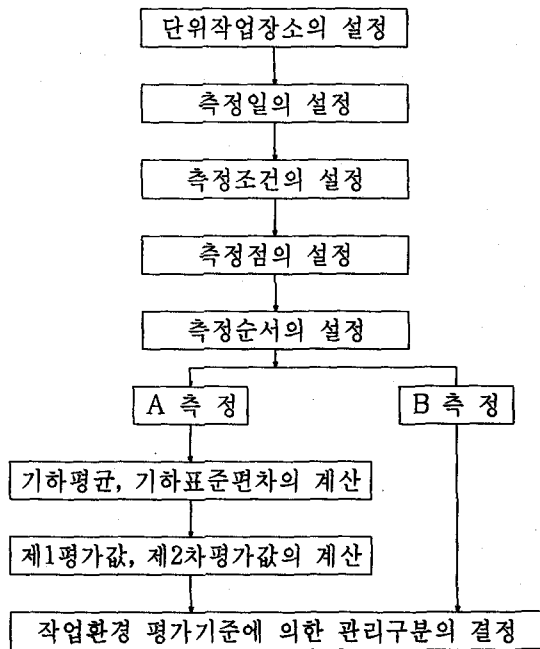


그림 1 작업환경 측정 및 평가 순서도

표 5. 평가값과 관리구분

1. A 측정만을 실시한 경우

제1평가값 < 관리농도	제2평가값 ≤ 관리농도 ≤ 제1평가값	제2평가값 > 관리농도
제1관리구분	제2관리구분	제3관리구분

2. A 측정 및 B 측정을 실시한 경우

		A 측정		
		제1평가값 < 관리농도	제2평가값 ≤ 관리농도 ≤ 제1평가값	제2평가값 > 관리농도
B 측정	B 측정값 < 관리농도	제1관리구분	제2관리구분	제3관리구분
	관리농도 ≤ B 측정값 ≤ 관리농도 × 1.5	제2관리구분	제2관리구분	제3관리구분
	B 측정값 > 관리농도 × 1.5	제3관리구분	제3관리구분	제3관리구분

(1) 기하평균과 표준편차

공기중 유해물질 측정값의 분포는 정규분포에 비해 저농도측에 편향되어 있다. 측정값을 대수변환하는 것에 의해 분포는 정규분포형에 근접하고, 그 평균과 변동의 크기를 각각 기하평균, 기하표준편차라 부른다.

기하평균(M)과 기하표준편차(σ)는 다음과 같이 구한다.

측정값(C_i)의 상용대수($x_i, i=1-n$)를 구하고, 첫째날의 평균(\bar{x}_1)을 계산한다.

$$x_i = \log C_i \tag{19}$$

$$\bar{x}_1 = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n \tag{20}$$

이들째에 대해서도 동일한 방법으로 평균(\bar{x}_2)을 구한다. (\bar{x}_1)과 (\bar{x}_2)로부터 평균(\bar{x})을 계산한다. \bar{x}_1 의 진수(M_1)가 첫째날 측정에 대한 기하평균이고, (\bar{x}_2)의 진수(M_2)가 둘째날 측정에 대한 기하평균이며, \bar{x} 의 진수(M)가 이들간의 측정에 대한 기하평균이다.

$$\bar{x} = 1/2(\bar{x}_1) + (\bar{x}_2) \tag{21}$$

$$\bar{x}_1 = \log M_1 \tag{22}$$

$$\bar{x}_2 = \log M_2 \tag{23}$$

$$\bar{x} = \log M \tag{24}$$

다음으로 첫째날 측정값으로부터 $\log \sigma_1$ 을, 둘째날 측정값으로부터 $\log \sigma_2$ 를 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$\log \sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot (\sum x_i^2 - n \cdot \bar{x}_1^2)} \tag{25}$$

$$\log \sigma_2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot (\sum x_i^2 - n \cdot \bar{x}_2^2)} \tag{26}$$

$\log \sigma_1$ 과 $\log \sigma_2$ 로부터 $\log \sigma$ 를 계산한다.

$$\log \sigma = \sqrt{\frac{1}{2}(\log^2 \sigma_1 + \log^2 \sigma_2) + \frac{1}{2}(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2} \tag{27}$$

$\log \sigma_1$ 의 진수가 첫째날의 측정에 대한 기하표준편차(σ_1)이고, $\log \sigma_2$ 의 진수가 둘째날 측정에 대한 기하표준편차(σ_2)이며, $\log \sigma$ 의 진수가 이들간의 측정에 대한 기하표준편차(σ)이다.

(2) 관리농도

관리농도는 작업환경관리를 수행하는 과정에서 유해물질에 관한 작업환경의 상태를 평가하기 위하여 작업환경 측정기준에 따라 단위작업장소에 대하여 실시한 측정결과로부터 해당 단위작업장소의 작업환경관리의 양호 여부를 판단할 때 관리구분을 결정하기 위한 지표이며, 작업환경 평가기준에 별도의 표로 각 평가대상 물질에 대한 관리농도가 규정되어 있다.

(3) 제1평가값과 제2평가값

제1평가값(E_{A1})은 단위작업장소에서 측정된 5개 이상 측정값의 기하평균과 기하표준편차에 의해 계산하는 값으로, 관리농도를 초과하는 확률이 5%, 즉 반복측정을 많이 하여도 대부분의 값(95%)이 관리농도를 초과하지 않을 통계적 추정값이다. 제2평가값(E_{A2})은 단위작업장소에서 공기중 유해물질농도를 기하평균과 기하표준편차에 의해 계산한 값으로 산술평균 농도의 추정값이다. 이들 값은 다음과 같이 계산한다.

가. 1일 측정의 경우

$$\log E_{A1} = \log M_1 + 1.645 \sqrt{\log^2 \sigma_1 + 0.084} \quad (28)$$

$$\log E_{A2} = \log M_1 + 1.151 \sqrt{\log^2 \sigma_1 + 0.084} \quad (29)$$

나. 연이틀 작업일에 측정하는 경우

$$\log E_{A1} = 1/2(\log M_1 + \log M_2) + 1.645 \sqrt{1/2(\log^2 \sigma_1 + \log^2 \sigma_2) + 1/2(\log M_1 - \log M_2)^2} \quad (30)$$

$$\log E_{A2} = 1/2(\log M_1 + \log M_2) + 1.151 \sqrt{1/2(\log^2 \sigma_1 + \log^2 \sigma_2) + 1/2(\log M_1 - \log M_2)^2} \quad (31)$$

여기서, M_1 은 첫째날 A 측정시 측정값의 기하평균, M_2 는 이튿날 A 측정시 측정값의 기하평균, σ_1 은 첫째날 A 측정시 측정값의 기하표준편차, σ_2 는 이튿날 A 측정시 측정값의 기하표준편차이다.

(4) 유기용제의 환산값

관리농도가 E_1, E_2, \dots 인 혼합용제를 취급하는 작업환경에서 각각의 측정값이 C_1, C_2, \dots 라 하면,

$$C = C_1/E_1 + C_2/E_2 + \dots \quad (32)$$

로부터 구한 환산값(C)을 각 단위작업장소에서 종합적인 농도로 여기고 관리구분을 결정한다. 이 경우 관리농도는 1로 한다.

(5) 작업환경중 유해물질농도의 하루 동안의 변동

작업환경중 유해물질의 공기중 농도는 시간적으로 변동한다. 그러므로 작업환경 관리상태를 정확히 파악하기 위해서는 공기중 유해물질의 하루 동안의 변동을 고려할 필요가 있으며, 연속적으로 작업하는 이틀 동안 측정하는 평가가 바람직하다. 그러나, 시간적 제약 등으로 인해 하루만 측정을 실시할 경우에는 하루 동안 변동하는 값을 구하는 것이 불가능하므로, 과거 자료에서 얻은 하루 동안 변동 값으로 0.084를 사용하여 평가하고 있다. 즉, 이 0.084라는 값은 평가시의 안전율을 감안한 것이므로, 1일 측정하여 평가를 실시하는 경우에 비해 연이틀 측정을 실시하여 평가하는 것이 작업환경 관리상태가 양호한 결과를 얻을 수 있다.

(6) B 측정값의 취급방법

B 측정이 단위작업장소의 유해물질 발생원

에 근접한 작업위치에서 최고농도를 알기 위해 실시하는 것이므로, 2개 이상의 측정점에서 B 측정을 실시하는 경우 B 측정값은 그 중 최대 값을 취한다.

2.2.3 관리구분에 따른 사후조치

작업환경 측정결과의 평가는 작업환경 평가 기준에 따라 제1관리구분, 제2관리구분 및 제3 관리구분의 3가지로 구분하여 실시하고 있다. 각각의 관리구분에 구분된 단위작업장소에 대하여 취해지는 조치내용의 개요를 표 6에 나타냈다.

표 6. 관리구분과 관리구분에 따른 강구조치

관리구분	작업장의 상태	강구조치
제1관리구분	해당 단위작업장소의 대부분(95% 이상)의 장소에서 공기중 유해물질농도가 관리농도를 초과하지 않은 상태	현재 관리를 계속적으로 유지하도록 노력한다
제2관리구분	해당 단위작업장소의 공기중 유해물질농도의 평균이 관리농도를 초과하지 않은 상태	시설, 설비, 작업공정 또는 작업방법을 점검하고, 그 결과를 근거로 작업환경을 개선하기 위해 필요한 조치를 강구하도록 노력한다
제3관리구분	해당 단위작업장소의 공기중 유해물질농도의 평균이 관리농도를 초과하는 경우	① 시설, 설비, 작업공정 또는 작업방법을 점검하고, 그 결과를 근거로 작업환경을 개선하기 위해 필요한 조치를 강구한다 ② 유효한 호흡용 보호구를 사용한다 ③ 건강진단의 실시, 기타 노동자의 건강유지를 도모하는데 필요한 조치를 강구한다

3. 공기중 분진농도 측정 및 평가에

분진의 해는 노동위생이나 안전공학 분야 뿐만 아니라 생산공학, 공해 등의 영역에서도 문제가 되고 있다. 그러나, 문제로 되고 있는 관점이 다르므로, 측정방법, 평가기준 등도 같지 않다. 여기서는 일본에서 작업환경 측정기준에 따라 분진측정을 실시한 결과의 예를 소개하면

서 분진농도 측정·평가시 유의점에 대하여 살펴보고자 한다.

3.1 분진농도의 변화

작업장의 분진농도는 발생상황 또는 기류 등에 의한 확산상태에 따라 시간적으로도 공간적으로도 항상 변동하고 있다. 그러므로, 아주 동일한 작업을 하고 있는 동일 작업장에서도 측

정위치나 시간이 달라짐에 따라 측정된 분진농도가 크게 달라질수 있다는 것을 염두에 두어야 한다.

작업환경 측정기준에는 A 측정에 의해 단위 작업장소에서 분진농도의 평균적인 분포를 얻고, B 측정에 의해 가장 높은 농도를 구하도록 규정하고 있는데, 여기에서는 단위작업장소의 어떤 한 측정점에 대하여 분진농도의 시간적 변동 또는 작업자 근방의 분진농도분포를 구하여 그 결과를 고찰하고, 분진 대책을 고려한

예를 소개하고자 한다.

그림 2는 주물공장의 주형 성형 작업장이 있는 한 점에서 분진의 연속측정장치를 설치하여 하나의 샘플 채취시간을 5분으로 하여 약 1개월간 연속측정을 실시한 결과이다. 동일한 작업장에서도 작업장의 여러 조건에 따라 분진농도는 시간적으로 크게 변하고, 날짜에 따라 분진농도가 크게 다르고, 변동 추이도 현저하게 다를수 있다.

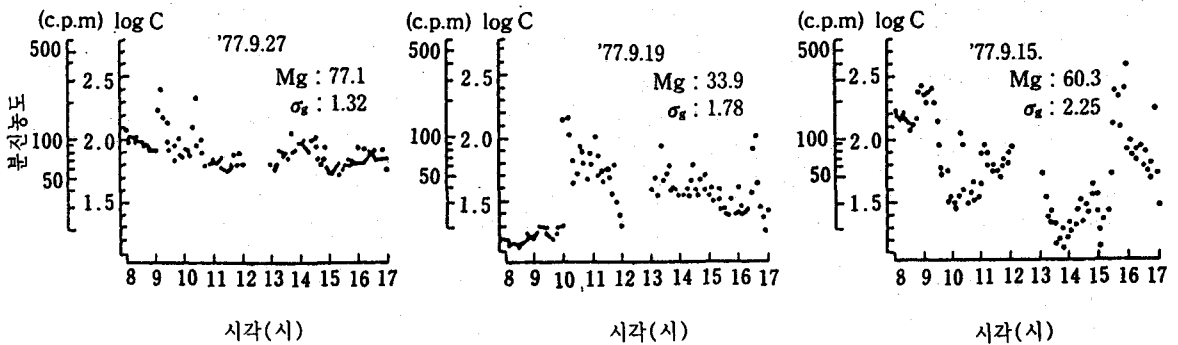


그림 2 주형 성형 작업장의 1점에서 분진농도의 시간적 변동

다음으로 작업자의 위치에서 분진농도의 시간적 변동을 측정하였다. 측정은 디지털 분진계 p-5형의 계수기를 소형의 기록계로 기록하고, 이 기록을 컴퓨터로 처리하여 10초 동안의 개수, 기하평균과 기하표준편차를 구하고, 분진농도의 시간적 변동을 구하였다. 이 결과의 예를 그림 3과 4에 나타냈다.

그림 3은 자동전기용접기의 측면에서 측정한 예이다. 이 용접기에는 원주식 후드가 설치되어 있는데, 흡인량이 불충분하므로 용접에 의해 발생된 분진(흄)이 후드의 측면으로 유출되고 있으며, 분진농도의 시간적 변동이 꽤 크게

나타나고 있다. 그림 4는 그림 3에 나타낸 용접기와 동일한 형식의 자동전기용접기의 측면에서 측정한 예이다. 이 용접기의 측면에서 용접작업을 하여도 분진농도의 변동은 거의 나타나지 않는다. 이러한 차이를 조사한 결과 이 용접기에는 그림 3에 나타낸 용접기에 부착된 흡인장치와 비교하면 꽤 강력한 흡인장치가 설치되어 있다. 그러므로, 용접에 의해 발생된 분진을 완전히 흡인하여 제거함을 알 수 있다.

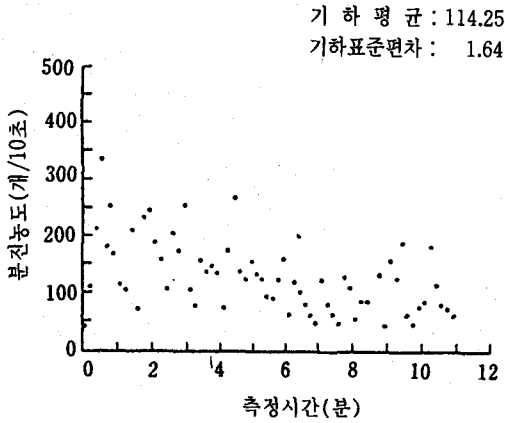


그림 3 자동전기용접기의 측면에서 분진농도의 시간적 변동

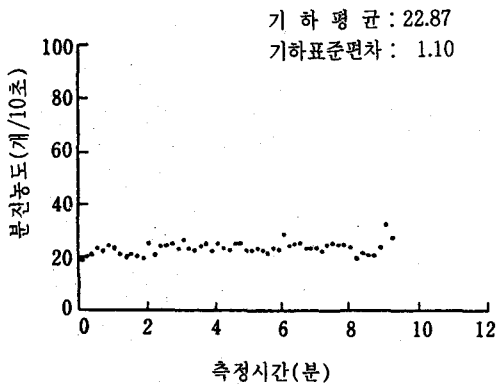


그림 4 자동전기용접기의 측면에서 분진농도의 시간적 변동

3.2 방진설비의 효과를 확인하기 위한 측정

흡인장치의 형상이나 흡인능력 등은 양호하게 설계되어 있어도 사용조건에 따라서는 그 성능을 충분히 발휘하고 있지 못한 경우도 자주 볼 수 있다. 방진대책을 위한 참고로 그 예

를 소개하고자 한다.

그림 5와 6은 부스식 후드 내에서 도장면의 연마작업을 하고 있는 모습이다. 후드 자체는 매우 양호하게 설계되어 있으며, 흡인능력도 충분하다. 연마작업중 작업자의 호흡면 근처에서 분진농도의 시간적 변동을 구한 결과를 그림 7에 나타냈다. 후드성능은 양호하지만 작업자의 노출농도는 꽤 높은 값을 보이고 있다. 그 이유는 그림 5에 나타낸 것처럼 작업자에 의해 후드 안으로 흡인되는 기류가 교란되고, 교란된 기류중에 연마에 의해 발생된 분진이 비산하여 정체한다고 생각된다. 그래서, 연마하는 물건을 고정시키는 지지대를 회전하도록 하여 작업자와 연마하는 물건간의 위치관계 및 흡인공기의 기류방향이 항상 그림 6과 같이 되도록 개선하였다. 개선한 후 연마작업하는 동안 작업자의 호흡면 근처에서 분진농도의 시간적 변동을 구한 결과를 그림 8에 나타냈다. 그림으로부터 연마에 의해 발생된 분진은 완전히 후드 내로 흡인제거되고, 작업자는 분진에 노출되지 않음을 알 수 있다.

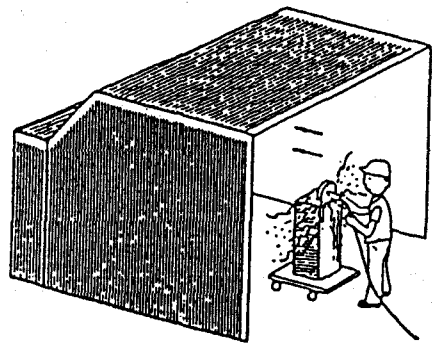


그림 5 도장면의 연마(나쁜 위치)

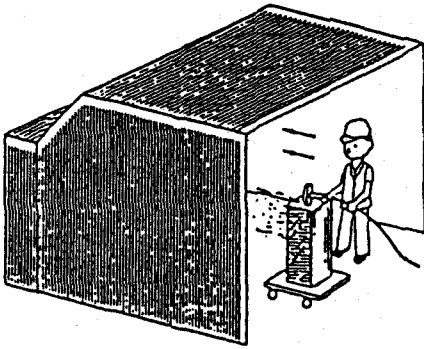


그림 6 도장면의 연마(좋은 위치)

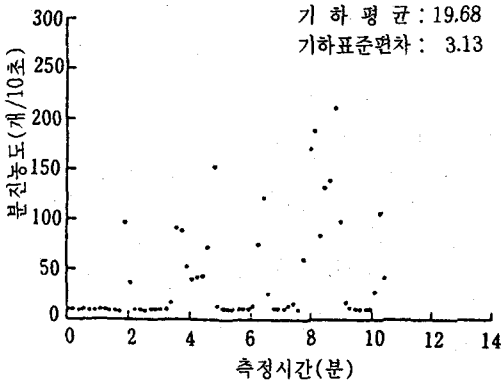


그림 7 도장면의 연마작업시 작업자 호흡면에서 분진농도의 시간적 변동

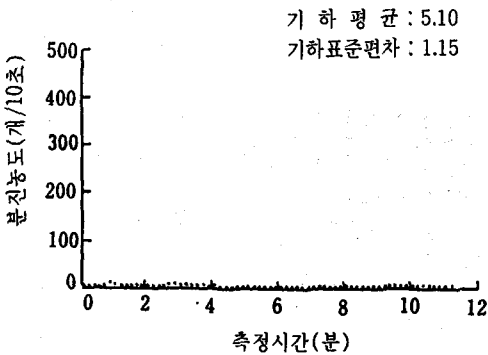


그림 8 도장면의 연마작업시 작업자 호흡면에서 분진농도의 시간적 변동

4. 공기중 가스농도 측정 및 평가 예

일본에서 작업환경 측정기준에 따라 사진요판 인쇄공장을 대상으로 공기중 유해가스를 측정할 예를 소개하고자 한다. 인쇄공장(15×21m)을 단위작업장소로 하여 3m 간격으로 측정점을 설정하여 오전, 오후 2회 모든 측정점에 대하여 A 측정을 실시하였다. 오전, 오후 모든 작업장의 장소적 변동이 있으며, 측정점의 간격을 4.2m 및 6m로 넓혀 측정점의 수를 적게 한 경우 평가에 미치는 영향을, 또한 B 측정을 실시하였을 때의 평가에 대하여 검토하였다.

단위작업장소에는 3색 인쇄기(가동중 2색), 5색 인쇄기(가동중 3색)의 각 1대가 설치되고, 그 밖에 가습기 4대, 천장에 전체환기장치 4대가 설치되어 있다. 먼저 다음과 같이 측정점을 설정하였다. ① 3m 등간격으로 39곳의 측정점을 결정하였다(그림 9 참조). ② 6m 등간격으로 12개 및 11개의 측정점을 그림 10의 A, B방법의 비교란의 조건으로 결정하고, 이 번호 점의 측정값을 사용하여 6m 등간격의 측정을 실시하였다. 샘플링은 1l 테트러팩을 사용하여 시료공기를 채취하여 곧바로 작업장 밖의 별실에서 휴대용 가스크로마토그래프 2대로 분석하였다.

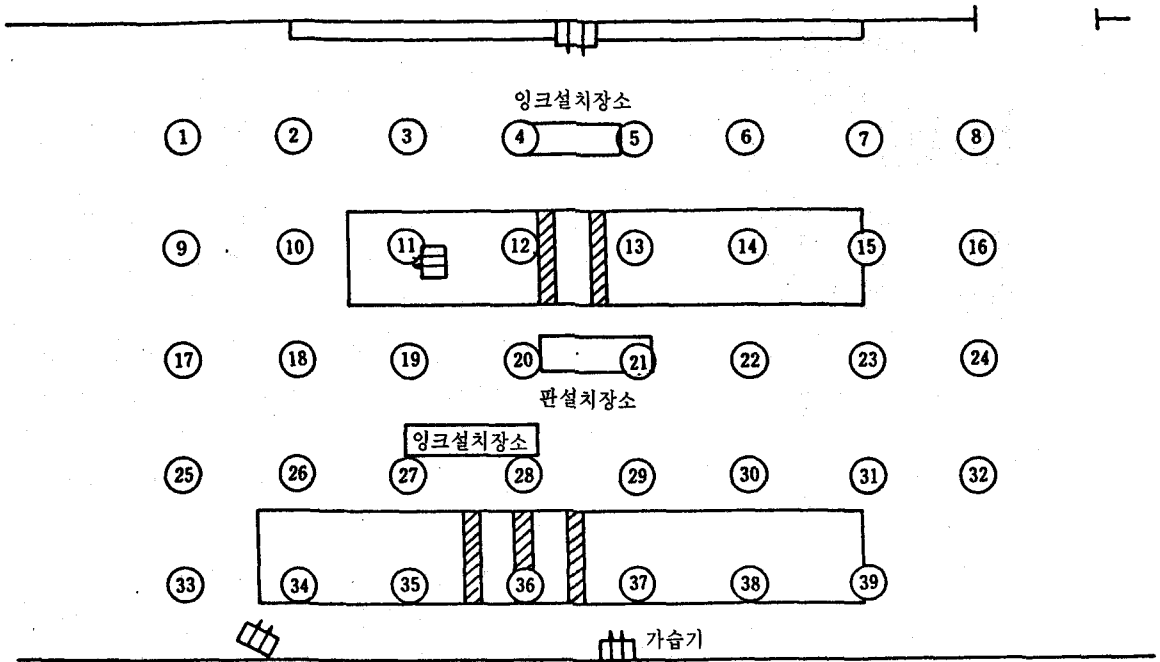


그림 9 3m 등간격 측정점

방법	측 정 점	비 고
A		출수열 출수점 간 격 6m 측정점 12
B		출수열 짝수점 간 격 6m 측정점 11
C		출수열 출수점 짝수열 짝수점 간 격 4.2m 측정점 20

방법	측 정 점	비 고
D		출수열 짝수점 짝수열 출수점 간 격 4.2m 측정점 19
E		간 격 3m 측정점 39 그림9에 나타난다.

그림 10 측정점의 선정방법과 측정점수

3m 등간격의 측정을 오전, 오후 2회 반복하여 메틸에틸케톤(MEK), 톨루엔, 초산에틸을 검출하다가 초산에틸은 저농도이므로 생략하고, 메틸에틸케톤과 톨루엔 농도만을 그림 11에 나타냈다. 6m(A, B), 4.2m(C, D), 3m(E)

등간격에서 메틸에틸케톤과 톨루엔의 기하평균과 기하표준편차에 대하여 그림 12에 정리하여 나타냈다. A 측정중 및 측정종료후 연관되는 특수작업에 대하여 B 측정(검지관)을 실시하여 표 7에 나타냈다.

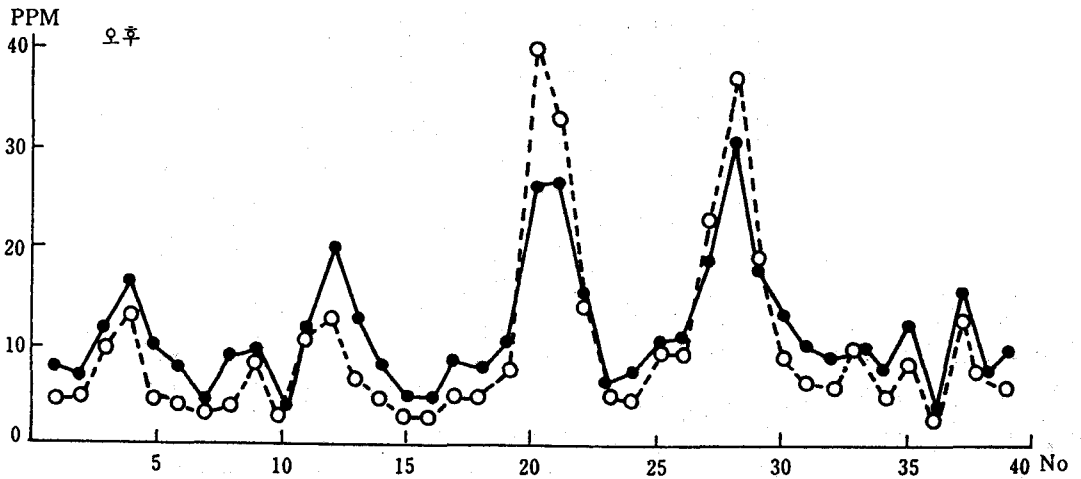
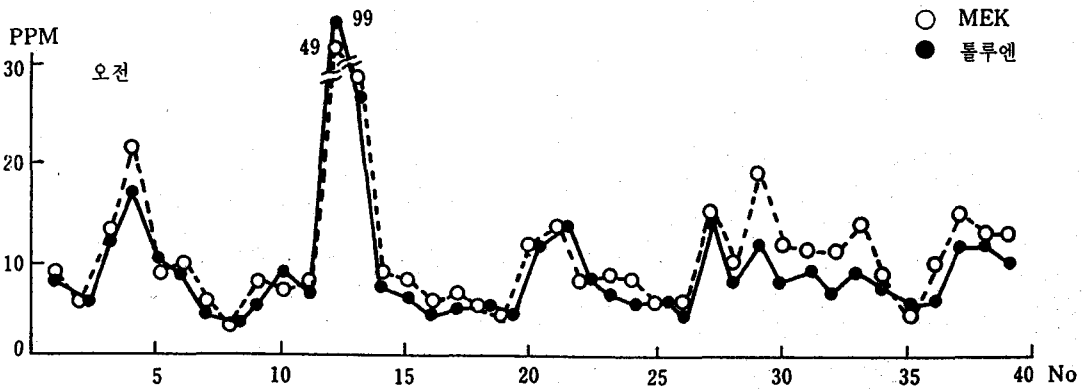


그림 11 3m 등간격 측정값

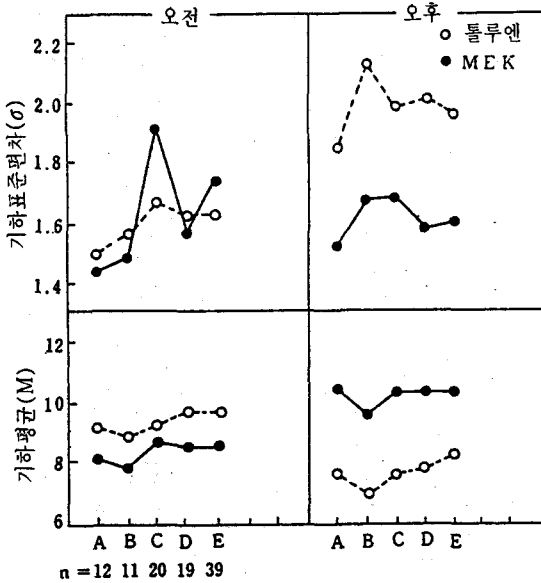


그림 12 측정점수와 기하평균, 기하표준편차

표 7. 특수작업시 공기중 유기용제농도

작업상황	공기중농도(ppm)		
	초산에틸	MEK	톨루엔
도쿠타 세정중	6	100	40
도쿠타 세정후	3	67	26
잉크판 세정중	6	84	53
잉크판 세정후	7	85	40
판면 세정중	10	222	106
판면 세정후	6	33	23

이 작업장에서 A 측정은 장소적 및 오전, 오후로 다소 변동이 있지만, 전반적으로 유기용제농도가 낮으므로 6, 4.2, 3m 등간격 측정점수를 12, 20, 39로 하여도 관리구분은 1로 평가된다. 그러나, B 측정에서는 최고농도의 환산값이 2.20(판면세정중)을 나타내고 관리농도의 1.5배를 초과하므로, 종합적으로 이 작업

장의 관리구분은 3이라고 평가되었다. 따라서, 국소배기장치의 설치를 권고하였다. 본 실험결과로부터 B 측정을 어떠한 특수작업을 하고 있는 장소를 선택하는가가 평가에 큰 영향을 미치는 것을 알았다.

5. 맺음말

사회전반적으로 환경에 대한 관심이 고조되고 있으며, 인간의 감성이 매우 중요시되고 있다. 이러한 추세에 따라 인간 주변의 생활환경에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 생활환경으로는 주거환경, 사무환경, 작업환경 등을 들 수 있다. 또한, 생활수준의 향상으로 열악한 작업을 기피하는 경향이 뚜렷하고, 특히 작업중에 유해물질이 발생하는 작업에 대한 기피는 매우 심각하다. 근로자의 건강유지 측면에서도 작업환경에 대한 관심과 개선을 위한 다각적인 노력이 필요하다.

각국에서는 산업재해방지 및 근로자의 건강유지 측면에서 작업환경에 대한 사항을 법적으로 규정하고 있다. 본 고에서는 작업환경의 실태 파악 및 개선을 위한 작업환경의 측정 및 평가방법에 대하여 국내의 규정과 일본의 규정을 살펴보았다. 우리나라도 작업환경에 대한 관심이 높아져 수 년전에 관련 규정을 새롭게 정비하여 시대적 변화에 대응하려고 노력하고 있다. 그러나, 작업환경에 대한 체계적인 측정 데이터 수집 및 분석 등이 잘 이루어지고 있지 않은 실정이다. 일본의 작업환경 측정 사례의 소개에서 보듯이 수행중인 작업의 종류 및 작업방법 등에 따라 작업환경의 특성은 크게 다를 수 있다. 그러므로, 근로자의 건강유지 측면

에서 작업환경을 개선하기 위한 방안을 모색하기 위해서는 전반적인 작업환경 특성에 대한 체계적인 연구가 선행되어야 할 것으로 여겨진다.

-참 고 문 헌-

1. 노동부, 1991, 유해물질의 허용농도, 노동부 고시 제91-21호.
2. 노동부, 1995, 작업환경측정 실시규정, 노동부 고시 제95-25호.
3. 노동부, 1995, 작업환경측정에 관한 정도 관리규정, 노동부고시 제95-26호.
4. 後藤博俊, 1991, “作業環境測定及び“その結果の評価”, 空氣清淨, 第29卷, 第4, pp. 1178-1187.
5. 木村菊二, 1991, “氣中粉じん濃度測定結果の評価方法について,” 空氣清淨, 第29卷, 第4, pp.1188-1193.
6. 木村二郎, 1991, “氣中カス・蒸氣濃度測定結果の評価と留意点について,” 空氣清淨, 第29卷, 第4, pp.1194-1207.

투고 환영

계간 「공기청정기술」지는 클린룸 업계의 발전을 위하여 보다 많은 클린룸 관련 기술자 여러분의 투고를 기다리고 있습니다.

각종 기술자료를 보내주시면 엄선하여 본 연구조합 기술지에 게재하여 드리고 소정의 고료를 보내드리겠습니다. 또한 본 기술지는 95년도부터는 “업계동정”란을 신설하여 업계의 단신을 수시로 접수, 게재코저하오니 우리 모두의 업계를 가꾼다는 마음으로 사소한 소식이라도 송부하여 주시기 바랍니다.