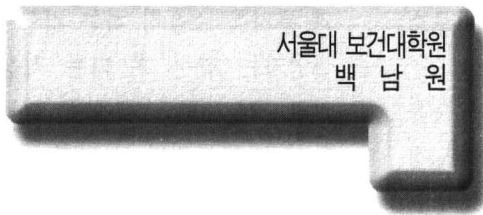


# 수동식 시료채취기의 사용현황



1970년대에 “수동식 시료채취기(Passive Sampler)”가 등장한 이후, 공기 중 유기용제를 채취(포집)하는데 있어서 Passive Sampler는 국제적으로 널리 사용되어왔다. Passive Sampler는 종래의 시료채취방법에 비하여 펌프가 필요하지 않으므로 간편하고 가볍고 사용하기 쉽고, 펌프의 보정(Calibration)이 필요 없고 또한 경제적이므로 이 방법은 산업위생분야에서 하나의 혁명적 방법으로 불려지고 있다.

## I. 이론적 배경(백남원 등, 작업환경측정 및 평가, 1997)

Passive Sampler는 다음 식(1)에서 보는 바와 같이 확산(Diffusion)의 원리를 이용한

방법이다. 공기 중 유해물질은 고농도에서 저농도로 확산에 의하여 이동하며 흡착제인 Sampler의 표면근처에서는 농도가 “0”으로 된다.

$$W = DA(C - C_0) / L \dots\dots\dots(1)$$

여기서

W = 물질의 전달속도(Mass Transfer Rate), ng/sec

D = 확산계수(Diffusion Coefficient), cm<sup>2</sup>/sec

A = Sampler 확산경로의 단면적, cm<sup>2</sup>

C = 공기중 오염물질의 농도, ng/cm<sup>3</sup>

C<sub>0</sub> = 채취면에서의 공기중 유해물질농도 ng/cm<sup>3</sup> (C<sub>0</sub>는 “0”으로 가정한다.)

L = Sampler 확산경로의 길이, cm

위의 식에서 “DA/L”의 단위는 “cm<sup>3</sup>/sec”이며, 이것은 공기의 유량단위로서 펌프의 역할에 해당한다. 따라서 Passive Sampler는 펌프가 없어도 확산에 의하여 유해물질을 포집할 수 있다.

## II. 최근의 연구결과

### 1. 현장조사 결과(Charron, et al. AHA Journal 59: 353-358, 1998)

최근 Abbott 회사의 산업보건연구팀에서

는 Passive Sampler를 이용한 Methylene Chloride 측정방법의 성능에 관하여 현장조사를 통하여 평가하였다.

3개 회사 제품(Assay Technology Model 541과 546, 3M Model 3520, SKC Model 575-001)을 이용하여 Methylene Chloride 농도를 측정한 후 정확도를 추정하였다. 이 연구는 “유럽표준위원회”(European Committee for Standardization), CEN)에서 제정한 수동식 채취기의 성능검사방법을 적용하였으며, 대

조실험으로서 NIOSH 공정시험법을 동시에 적용하여 수동식 채취법의 결과를 비교, 평가하였다. Methylene Chloride농도 1-357ppm 범위에서 5개 수준으로 구분하여 측정하였고 각 농도에서 제품별로 6개의 시료를 채취하였다. 8시간 시간가중평균치(Time-Weighted Average, TWA)와 단시간 농도를 측정하기 위하여 8시간 시료와 15분간 시료를 각각 채취하였다. 현장조사 결과를 요약하면 표 1과 같다.

표 1. 제품별로 본 Passive Sampler의 포괄적 정확도

시료종류	Overall Accuracy, %			
	NIOSH 공정시험법	Assay Technology 546	SKC 575-001	3M 3520
8시간 시료	9.6	17	17	13
15분 시료	16	18	27	16

표 2. Passive Sampler와 Active Sampler의 장·단점

	Passive Sampler	Active Sampler
장 점	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 기구구입에 따른 투자가 필요 없음</li> <li>2. 펌프에 대한 Calibration이 불필요</li> <li>3. 노동력소비가 적으므로 인건비 절감</li> <li>4. 펌프고장에 의한 시료채취실패 가능성 없음</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 저렴한 활성탄관의 단가</li> <li>2. 저농도 측정에 유리함</li> </ol>
단 점	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Passive Sampler의 단가가 활성탄관 단가보다 높다.</li> <li>2. 성능테스트(Validation Test)요망</li> <li>3. Sampling Rate가 낮아서 감도(Sensitivity)가 낮다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 기구(펌프, Battery)구입에 따른 투자 요망</li> <li>2. 펌프 Calibration 요망</li> <li>3. 많은 노동력이 필요하므로 인건비가 높아진다.</li> <li>4. 펌프고장에 의한 시료채취 실패</li> </ol>

표에서 보는 바와 같이 8시간 시료에서는 3개 제품 모두 정확도가 25% 미만으로서 OSHA 와 NIOSH의 기준에 적합하였으나, 단시간 시료에서는 SKC 제품의 정확도가 27%로서 성능미달로 나타났다.

## 2. 경제성 평가(Nothstein, et al., AIHA Journal 61:64-68, 2000)

University of Washington 연구팀에서는 Passive Sampler와 Active Sampler(능동식 시료채취기, 즉 펌프를 사용하는 NIOSH 공정시험법)의 경제성에 관하여 여러 가지 항목을 평가하였으며 각각에 대한 장점과 단점을 요약하면 표 2와 같다.

비록 Passive Sampler에서는 복잡한 Validation Test가 요구되나, 기구 구입비, Calibration 비용, 노동력 등 여러 가지 요소를 종합하여 고려할 때 Passive Sampler가 Active Sampler보다 경제성이 있는 것으로 나타났다.

## III. 수동식 채취기의 국제적인 사용 현황 (Pristas, AHA Journal 55: 841-844, 1994)

### 1. 미국

1970년에 공포된 산업안전보건법에 의하여 미국 OSHA(산업안전보건청, Occupational Safety and Health Administration)에서는 공기 중 유해물질에

대한 노출기준(Permissible Exposure Limit, PEL)을 제정하였고, 몇 개의 물질에 대해서는 감시농도(Action Level)를 제정하였다. 한편 OSHA와 NIOSH(산업안전보건연구원, National Institute for Occupational Safety and Health)에서는 광범위한 문헌조사와 연구를 통하여 수많은 물질에 대하여 측정방법을 제시하고 있으며, Benzene 등 몇 개의 물질에 대해서는 Passive Sampler를 선택할 수 있도록 인정하고 있다. Benzene에 관한 OSHA의 규정을 보면 다음과 같다.

“기업주는 해당 사업장의 주어진 조건에서 이용할 수 있는 측정방법, 즉 적절한 정확도(Accuracy)와 정밀도(Precision)를 가진 측정방법을 선택할 의무가 있다. 선택된 방법은 Benzene 농도 0.5ppm 이상에서  $\pm 25\%$ 의 정확도(95% 신뢰도에서)를 가져야 한다.”

여기서 말하는 Accuracy란 NIOSH에서 제안한 “포괄적 정확도(Overall Accuracy)”로서 변이(Bias)와 Precision을 종합하여 다음식(2)로 나타낸다.

$$\text{Overall Accuracy} = \{2(\text{CV}) + |\text{Bias}| \} \dots\dots\dots(2)$$

여기서  $\text{Bias} = (\text{측정치} - \text{참값}) / \text{참값}$

OSHA에서는 다른 물질들, 예를 들면 Formaldehyde, Ethylene Oxide, Vinyl Chloride 등에 대해서도 PEL 수준의 농도에서는  $\pm 25\%$ , 그리고 Action Level과 PEL

사이의 농도에서는  $\pm 35\%$ 의 정확도를 요구하고 있다. Action Level 미만의 Vinyl Chloride 및 PEL 미만의 Acrylonitrile 에 대해서는  $\pm 50\%$ 의 정확도를 요구하고 있다. 일반적으로 Action Level이란 PEL의  $\frac{1}{2}$  수준이다.

NIOSH는 Toluene에 대한 측정방법으로서 Passive Sampler를 추천한 바 있다(“NIOSH 4000”) 또한 OSHA는 성능검사 (Validation)를 통하여 3M 제품인 Passive Formaldehyde Monitor의 성능을 인정한 바 있다. NIOSH에서는 Passive Sampler의 성능평가를 위한 실험방법(Protocol)을 작성하여 제작회사와 관계기관에 제시였으며, 성능에 영향을 미치는 요소로서 습도, 역확산(Back Diffusion), 방해물질 등을 포함시켰다.

유기용제 측정을 위한 Passive Sampler에 대해서는 지금까지 수많은 실험실 평가와 현장 평가가 이루어졌으며, 이러한 연구결과를 종합할 때, 여러 물질, 특히 방향족탄화수소(Aromatic Hydrocarbons)와 지방족탄화수소(Aliphatic Hydrocarbons)에 대해서 Passive Sampler가 재래식 방법(활성탄관과 펌프를 사용하는 NIOSH 공정시험법)과 견줄 만 하였다. 성능검사자료(Validation Data)를 충분히 구비할 경우, OSHA의 감독관은 Passive Sampler에 의한 data를 인정하고 있다.

## 2. 영국

1988년 공포된 “유해물질관리법(Control of

Substances Hazardous to Health, CSHH)”은 다음 사항을 요구하고 있다.

“근로자의 유해물질노출에 대하여 적절한 관리가 유지되고 있음을 확인하기 위하여, 또는 근로자의 건강보호를 위하여, 필요한 경우 기업주는 적절한 방법을 적용하여 근로자의 유해물질노출을 측정해야 한다.”

이 법규는 여러 가지 물질에 대하여 Passive Sampler를 추천하고 있으며, Styrene, Toluene, C5-C10 Hydrocarbons 및 Benzene 등이 포함된다. 또한 “3M 3500 Organic Vapor Monitor”(그림 1 참조) 등 특정 회사의 제품도 포함되어 있다. 영국 보건안전청(Health and Safety Executive)에서는 Passive Sampler를 평가하기 위한 Validation Protocol을 발간하였다.



그림 1. 3M 3500 Organic Vapor Monitor.

이상을 요약하면, 미국과 영국을 위시한 유럽에서는 성능테스트를 통과한 물질에 대하여 Passive Sampler를 인정하고 있다. 출처