

확산형 포집기와 활성탄관을 이용한 공기중 혼합 유기용제 측정에 관한 연구

순천향대학교 산업의학연구소

안규동 · 연유용 · 이병국

— Abstract —

Comparison of Passive Diffusional Organic Vapor Samplers with Charcoal Tubes for the Measurement of Mixed Organic Solvents

Kyu-Dong Ahn, You-Yong Yeon and Byung-Kook Lee

Institute of Industrial Medicine, Soonchunhyang University

Diffusional sampling devices offer many advantages for measuring concentration levels of industrial contaminants than the conventional pump and charcoal tubes because they are lightweight, require no power, pump or tubing. This study designed to evaluate and compare the sampling performance of passive sampler to charcoal tube from mixed organic solvent workplace with 181 organic solvent using workers working in different concentration of organic solvents. All study workers kept both devices in their breathing zone simultaneously in the workplaces, and the sampling analytical results were compared with those of charcoal tube.

The results obtained are as follows:

1. The concentrations of toluene and xylene measured by passive sampler were slightly higher than those of charcoal tube, but there were no significant statistical differences between two methods.
2. The concentrations of MEK and cyclo-hexanone measured by passive sampler in low exposure workplace (below 0.20 of MEK TLV levels and 0.1 of cyclo-hexanone TLV levels) were about 2 times higher than that of charcoal tube sampling. While, absorption efficiency of passive sampler was reduced according to increasing concentration measurements of MEK and cyclo-hexanone in air.
3. The ratios of concentrations of toluene, xylene, MEK and cyclo-hexanone measured by passive sampler over those measured by charcoal tube were 1.11, 1.07, 1.63 and 3.65 respectively.
4. The percentages of concentration of passive samplers within 0.75 and 1.25 of charcoal tube value as a reference value of 1.0 were 57% in toluene, 74% in xylene, 34% in MEK and 32% in cyclo-hexanone respectively.

5. The correlation coefficients of toluene, xylene, MEK and cyclo-hexanone between passive sampler and charcoal tube sampler were 0.963, 0.957, 0.943 and 0.562 with statistical significance.

Key Words : charcoal tube, passive sampler, mixed organic solvent

서 론

유기용제란 특정한 물질을 녹이던가 회석시키는 유기화학물질을 총칭하는 것으로서 특히 기름 및 지방 등을 잘 녹이고, 휘발성이 강한 것이 특징으로 공기중에는 증기(vapor)의 형태로 존재한다. 산업장에서는 이러한 특성을 이용, 도료의 제조 및 배합, 금속제품에서 유분의 세척, 인쇄, 필요 물질의 추출, 드라이크리닝 등 용도가 광범위하기 때문에 그 종류도 많으며 사용목적에 따라서 단독 또는 혼합해서 사용하고 있다. 유기용제 증기 폭로는 산업장 근로자들 외에도 어린이들이 장난감 조립할 때, 청소년들의 고의적인 흡입 등 일반 대중에게도 폭로의 기회가 증대되어 건강장해를 초래할 수 있기 때문에 사회적인 관심을 불러일으키는 물질들이다.

산업장에서 유기용제를 사용하는 경우 인체로 들어가는 경로는 호흡기를 통한 흡수, 피부를 통한 흡수, 소화기를 통한 흡수의 3개의 경로가 있지만 대부분 호흡기를 통한 흡입이 가장 많다. 산업장에서 유기용제 증기가 발산되고 있을 때 이 유해인자가 건강장해를 일으킬 것인지 또는 그 유해인자의 수준은 어느정도인지 평가를 하여야 한다. 이러한 유기용제 측정방법은 목적에 따라서 개인의 폭로량을 평가하기 위한 측정과 단위작업장소의 평균농도를 평가하기 위한 측정으로 구분할 수 있다. 각각의 작업자에 대하여 작업시간 중에 어느정도 유기용제에 폭로되고 있는가를 측정하기 위해서 일반적으로 개인 시료포집기를 일정유량으로 고정시켜 활성탄관을 작업자의 호흡기 위치에 착용시켜 작업시간 동안에 시료를 포집한다. 포집된 시료는 가스크로마토 그래프 분석방법에 따라 유기용제 성분을 정량하게 된다. 그러나 이 방법은 고가의 시료채취 펌프가 필요하며, 펌프의 중량으로 인하여 근로자의 작업에 방해가 될 수 있고, 시료를 채취하는 동안 수시로 펌프의 작동상태 확인이 필요하며 사용 전 후 반드시 정밀한 교정기를 통하여 시료채취 유량을 교정해야 하

는 등 많은 불편이 뒤따르고 있다. 또한 활성탄관의 파과용량(breakthrough)은 시료를 채취하는 양, 습도, 온도 등에 따라서 변동될 수 있어 사용에 어려움이 있다(NIOSH, 1989). 최근에 개발된 확산형 시료포집기는 가벼운 중량으로서 작업자의 호흡 위치에 뱃지 형태로 부착, 작업장의 오염공기가 확산(diffusion) 및 삼투(permeation)에 의하여 흡착판에 포집시켜 활성탄관과 같은 방법으로 분석하여 유기용제를 정량해 낼 수 있다(Gray and Thompson, 1984). 그러나 확산형 시료 포집기는 여러가지 편리함과 장점을 가지고는 있지만 높은 단가와 시료채취의 정밀도나 정확도등이 확인된 자료가 부족하기 때문에 현재 우리나라는 아주 일부 기관에서 제한적으로 사용되고 있고, 작업환경 측정방법(노동부, 1991)에도 이 방법의 사용은 인정되지 않고 있다. 그러나 확산형 시료 포집기는 현재 미국 산업안전보건청(OSHA, 1990)에서도 산업장 작업환경측정에 공식적으로 사용하고 있다.

본 연구는 산업장에서 가장 많이 사용하는 톨루엔을 중심으로 키시렌, 엠이케이, 시크로헥사논 등의 유기용제 증기가 발산하는 작업장에서 활성탄관과 확산형 시료포집기를 작업자에게 부착하여 시료를 포집한 후 정량된 공기중 농도를 비교하여 공정법으로 인정되는 활성탄관과 확산형 시료포집기 간의 시료포집에서 어떤 차이가 있는가를 알려고 시도하였다.

재료 및 방법

1. 조사대상

여러가지 유기용제를 사용하되 주로 톨루엔이 사용되는 작업 공정으로 선택하였으며 한가지 유기용제만 단독으로 사용하는 사업장은 제외하였다.

2. 시료채취기구

시료채취용 활성탄관은 미국 Gilian사의 acti-

vated charcoal 8×110mm, sorbent 400/200mg, cat #10240을 사용하였으며, 확산형 시료포집기는 미국 3M사의 organic vapor monitor #3500을 사용하였다. 활성탄관의 시료채취용 펌프는 Gilian사의 Gil Air-3을 사용하였다.

3. 시료채취방법

활성탄관은 유량을 분당 200ml로 교정한 시료채취용 펌프에 연결하여 작업자의 우측 깃에 부착하고, 바로 그 옆에 확산형 시료포집기를 부착하였으며, 작업자의 작업상황과 공기중 농도에 따라서 시료채취시간(1-6시간)을 조절하였다.

4. 분석방법

활성탄관은 앞, 뒤 2부분을 분리하여 각각의 것을 teflon cap tube에 넣고 탈착제로서 이황화탄소(CS₂) 3ml를 가하여 30분간 간헐적으로 흔들어 준 후 GC(FID)에서 column 80/100 mesh chromosorb W(AW-DMCS), column temp 60-150°C, detector temp 200°C, injector temp 100°C, carrier gas N₂ 20ml의 조건으로 분석하였으며(NIOSH, 1987), 확산형 시료포집기의 것은 탈착제 1.5ml를 가하여 30분간 약하게 진탕한 후 활성탄관 분석 때와 동일한 조건에서 분석하였다(3M Organic Vapor Monitor #3500 Analysis Guide, 1982).

5. 농도의 계산

활성탄관 분석에서 앞, 뒤 2부분의 분석치에서 뒤부분의 분석치가 앞부분의 20%이상 초과되는 것은 파과한 것으로 간주하여 결과에서 제외하였으며, 앞, 뒤부분의 분석치를 합하여 탈착효율을 보정, 공기중 농도로 계산하였다. 확산형 시료포집기의 경우는 다음과 같은 공식을 적용하여 공기중 농도로 하였다(3M Organic Vapor Monitor Sampling Guide for Organic Monitor #3500/3510, 1982).

$$C(\text{concentration; ppm}) = \frac{W(\text{ug of analyte})}{\text{rxt}(\text{minutes})} \times \frac{1000 \times 24.45}{S.R \times M.W}$$

r:recovery coefficient	= 1.05
xylene	= 1.07
MEK	= 1.00
c-hexanone	= 0.97
S.R:sampling rate	= 31.4±0.6
xylene	= 27.3±0.5
MEK	= 36.3±0.9
c-hexanone	= 28.9±0.3

조사성적

본 연구에 이용한 두가지 시료채취기 즉, 확산형과 활성탄관은 기지량의 혼합 유기용제를 3가지 농도별로 3개씩 넣어 실온에서 24시간 방치하였다가 이황화탄소(CS₂)로 탈착효율을 확인하여 그 평균을 표1에 나타내었다.

Table 1. Desorption efficiency of between OVM and charcoal tube by organic solvents

solvents	desorption	efficiency(%)
	OVM	charcoal
toluene	100.9±1.7	97.8±0.5
xylene	96.6±8.2	92.9±7.7
MEK	85.5±6.9	63.1±5.7
c-hexanone	91.6±0.4	47.6±1.1

표 2는 톨루엔과 기타 유기용제를 혼합하여 사용하는 사업장들에서 각 공정별 공기중 톨루엔, 키시렌, 엠이케이, 시크로 헥사는 농도를 비교한 것으로, 그라비아 공정에서 톨루엔이 검출된 것은 확산형, 활성탄관 모두에서 50개였으며 평균 농도의 차이가 없었으며, 키시렌은 확산형 4개, 활성탄관 8개의 시료에서 검출되었으며 평균 농도 역시 차이가 없는 것으로 나타났다. 엠이케이 경우는 두가지 포집기에서 6개씩 확인되었으며 활성탄관에서 높은 것으로 나타났다. 시크로헥사논은 확산형에서는 2개의 시료에서 검출되었으나 활성탄관에서는 검출된 것이 없었다.

옌셋 인쇄공정에서는 확산형과 활성탄관에서 모두 9개 시료에서 톨루엔이 검출되었으며 평균농도가 동일하였다. 키시렌의 경우는 확산형이 3개, 활성탄관이 5개로서 평균치는 활성탄관에서 높은 것으로 확인되었다. 엠이케이는 두가지 모두에서 3개씩 검출되었으며 평균농도는 확산형이 다소 높았다.

자성체 도포 공정에서는 톨루엔이 확산형에서 48

Table 2. Mean values of the organic vapor concentrations(ppm) between OVM and charcoal tube sampling by work type

work type	solvents	N	OVM mean±SD	N	charcoal mean±SD
Gravure print	toluene	50	79.1 ± 80.6	50	81.2 ± 89.9
	xylene	4	1.0 ± 0.9	8	1.1 ± 1.4
	MEK	6	44.8 ± 37.2*	6	73.3 ± 78.8
	c-hexanone	2	4.2 ± 0.2	-	-
Offset print	toluene	9	2.2 ± 0.6	9	2.3 ± 1.1
	xylene	3	1.5 ± 0.6	5	2.6 ± 3.2
	MEK	3	11.3 ± 4.5	3	10.5 ± 5.3
Magnetic coating	toluene	48	14.8 ± 17.5	47	15.4 ± 14.1
	xylene	6	5.0 ± 2.1	6	5.6 ± 2.8
	MEK	41	87.4 ± 136.9	42	82.3 ± 149.2
	c-hexanone	39	3.2 ± 3.4*	37	1.5 ± 1.3
Winding& packing	toluene	13	80.7 ± 97.6*	13	95.2 ± 117.6
	xylene	8	5.6 ± 6.6	11	3.9 ± 5.4
Solvent mixing	toluene	15	5.4 ± 6.2	15	6.4 ± 8.7
	xylene	6	5.2 ± 2.6	9	3.1 ± 2.9
	MEK	9	23.4 ± 12.7	10	20.6 ± 22.2
	c-hexanone	8	1.4 ± 0.9	8	2.4 ± 1.9
Plate shop & calender	toluene	31	14.7 ± 24.6	31	12.4 ± 13.6
	MEK	19	16.5 ± 32.6	23	18.8 ± 55.6
	c-hexanone	27	0.4 ± 0.2*	14	1.5 ± 0.7

MEK : methyl ethyl ketone

OVM : organic vapor monitor

* : p<0.01

Table 3. Number of paired samples between OVM and charcoal by organic solvents

Variable	N	OVM(A)	charcoal(B)	A/B
toluene	165	38.0 ± 62.6	39.5 ± 69.1	1.11 ± 0.60
xylene	27	4.2 ± 4.1	4.2 ± 3.9	1.07 ± 0.40
M E K	77	57.3 ± 106.3	58.9 ± 119.1	1.63 ± 1.68
c-hexanone	59	2.4 ± 3.0*	3.7 ± 11.6	3.65 ± 11.61

* : p<0.05

Table 4. Comparison of toluene concentrations(ppm) between OVM and charcoal tube by TLV-levels

TLV-levels	N	OVM(A)	charcoal(B)	A/B
-0.25	108	8.6 ± 6.9	8.7 ± 6.7	1.17 ± 0.70
0.26-0.50	25	32.9 ± 13.0	33.4 ± 5.8	0.98 ± 0.32
0.51-1.00	15	73.6 ± 32.3*	66.9 ± 12.1	1.08 ± 0.41
1.00-2.00	7	151.7 ± 44.1	145.5 ± 38.0	1.10 ± 0.46
2.01-	10	233.9 ± 48.1*	271.4 ± 64.6	0.87 ± 0.10

* : p<0.01

개, 활성탄관에서는 47개였으며 이들의 평균농도는 두 방법간에 차가 없었다. 키시렌의 경우 두방법 모두 6개씩 검출되었으며 평균농도는 활성탄관이 높았

으나 유의한 차이는 아니었다. 엠이케이는 확산형이 41개, 활성탄관이 42개로 검출되었으며 평균농도는 확산형 포집기에서 다소 높은 것으로 확인되었다.

Table 5. Comparison of xylene concentrations(ppm) between OVM and charcoal tube by TLV-levels

TLV-levels	N	OVM(A)	charcoal(B)	A/B
-0.05	19	2.0 ± 1.5	1.9 ± 1.3	1.09 ± 0.48
0.06-0.10	4	6.7 ± 1.9	6.7 ± 1.9	1.00 ± 0.10
0.11-	4	12.2 ± 2.7	11.9 ± 1.2	1.02 ± 0.15

Table 6. Comparison of MEK concentrations(ppm) between OVM and charcoal tube by TLV-levels

TLV-levels	N	OVM(A)	charcoal(B)	A/B
-0.125	39	13.3 ± 13.8**	8.5 ± 6.4	2.22 ± 2.18
0.126-0.25	15	37.9 ± 16.5**	32.6 ± 5.5	1.14 ± 0.45
0.26-0.50	11	76.2 ± 46.5*	70.1 ± 10.3	1.06 ± 0.56
0.50-1.00	6	143.0 ± 48.0	139.7 ± 35.9	1.01 ± 0.20
1.01-	6	270.7 ± 287.4	351.0 ± 285.5	0.73 ± 0.42

** : p<0.01

* : P<0.05

시크로헥사논의 경우 확산형이 39개, 활성탄관은 37개로 검출되었으며 확산형의 측정치가 유의하게 높은 것으로 나타났다(p<0.01).

인쇄물 권취 및 포장 공정에서 측정된 톨루엔은 두방법 모두에서 13개가 검출되었으며 활성탄관에서 유의하게(p<0.01) 높은 것으로 측정되었으며 키시렌은 확산형 8개, 활성탄관 11개로 확인되었으며 두 평균간에 유의한 차는 없었다.

색소 및 용제 배합공정에서 측정된 톨루엔은 두 방법 모두에서 15개인 것으로 확인되었으며 두 평균간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 키시렌과 엠이케이는 확산형이 다소 높은 것으로 나타났으며, 시크로헥사논은 활성탄관이 높은 것으로 나타났으나 유의한 차이는 아니었다.

그라비아 제판 및 카렌다 공정에서 측정된 톨루엔은 두 방법 모두에서 31개가 검출되었으며 두 방법간에 평균 농도의 차가 없는 것으로 확인되었다. 엠이케이는 확산형 19개, 활성탄관에서 23개가 검출되었으며 평균농도는 차이가 없었다. 시크로헥사논의 경우 확산형에서는 27개, 활성탄관에서는 14개가 검출되었으며 활성탄관의 농도가 훨씬 높게 나타났으며 통계적인 유의성이 있었다(p<0.01).

표 3은 표1의 181개 시료중 동일 근로자에서 확산형과 활성탄관 두가지 시료채취로부터 동시에 동일 유기용제가 검출되는 것으로 확인된 시료중 성분별로 짝지어진 시료수를 나타내었으며 이중에서 시크로헥사논은 두가지 채취법에서 활성탄관의 측정치가 확산형의 것보다 유의하게 높은 것으로 나타났다

(p<0.05). 그러나 활성탄관의 측정치로 확산형의 측정치를 나누어 유기용제 별로 그 비의 평균을 비교하였을 때 톨루엔은 1.11배, 키시렌은 1.07배, 엠이케이는 1.63배였으며 시크로헥사논은 무려 3.65배나 높은 것으로 확인 되었다.

표 4는 확산형과 활성탄관에서 톨루엔이 동시에 검출된 경우, 활성탄관에서 측정된 톨루엔 농도를 기준으로 허용농도에 대하여 편의상 1/4수준에서 2배까지의 농도로 구분하였을 때 확산형 포집기에서 측정된 농도를 비교한 것이다. 허용농도의 1/4이하 수준에서 두 방법간의 평균은 차가 없었으나 측정치의 비는 활성탄관이 17% 높은 것으로 측정되었으며, 허용농도의 1/4에서 1/2수준 구간에서 두 방법간에 차이가 없었으며, 1/2에서 허용농도 수준에서는 확산형의 측정치가 유의하게 높았으나 측정치의 비는 활성탄관이 8% 높은 것으로 나타났으며, 허용농도에서 허용농도 2.00배 수준까지는 확산형 포집기에서 높은 농도로 측정되었으며, 반면 허용농도 2배 이상 구간은, 타 구간에 비하여 활성탄관에서 더 높게 측정되었으며 통계적으로 유의한 차가 있었으며 측정치의 비는 0.87로 확인되었다.

표 5는 확산형과 활성탄관에서 키시렌이 동시에 검출된 것만으로 짝지었을 때 두 방법에서 측정치를 비교한 것이다. 측정된 농도가 대부분 허용농도의 1/10수준으로서 두 방법간에 확산형에서 다소 높게 측정되었으나 큰 차이가 나타난 경우는 없었다.

표 6에서 엠이케이는 허용농도 이하에서 확산형 포집기가 활성탄관보다 포집율이 높으며, 공기중 농

Table 7. Comparison of c-hexanone concentrations(ppm) between OVM and charcoal tube by TLV-levels

TLV-levels	N	OVM(A)	charcoal(B)	A/B
-0.10	42	1.3 ± 0.9*	0.8 ± 0.6	1.91 ± 1.45
0.11-0.20	9	3.2 ± 1.0	3.2 ± 0.5	0.95 ± 0.18
0.21-0.40	6	4.9 ± 2.4	5.7 ± 0.6	0.86 ± 0.41
0.41-	2	14.4 ± 8.8*	58.1 ± 38.6	0.38 ± 0.40

* : P<0.05

Table 8. Frequencies of OVM/charcoal ratio by toluene TLV-levels

TLV-levels	OVM/charcoal ratio						Total
	-0.50	0.51-0.75	0.76-1.00	1.01-1.25	1.26-1.50	1.51-	
-0.50	7 6.48	19 17.59	33 30.56	19 17.59	6 5.56	24 22.22	108
0.51-1.00	-	5 20.00	10 40.00	8 32.00	-	2 8.00	25
1.01-1.50	1 6.67	1 6.67	6 40.00	4 26.67	-	3 20.00	15
1.51-2.00	-	1 14.29	2 28.57	3 42.86	-	1 14.29	7
2.01-	-	1 10.00	8 80.00	1 10.00	-	-	10
Total	8 4.85	27 16.36	59 35.76	35 21.21	6 3.64	30 18.18	165 100.00

Table 9. Frequencies of OVM/charcoal ratio by xylene TLV-levels

TLV-levels	OVM/charcoal ratio						Total
	-0.50	0.51-0.75	0.76-1.00	1.01-1.25	1.26-1.50	1.51-	
-0.05	1 5.26	1 5.26	8 42.11	4 21.05	3 15.79	2 10.53	19
0.06-0.10	-	-	3 75.00	1 25.00	-	-	4
1.01-	-	-	1 25.00	3 75.00	-	-	4
Total	1 3.70	1 3.70	12 44.44	8 29.63	3 11.11	2 7.41	27 100.00

도가 높아짐에 따라서 확산형의 포집효율이 감소하는 것으로 나타났다. 특히 확산형 포집기는 허용농도의 1/8수준에서 2배 이상(p<0.01), 1/4에서 1/2수준은 1.14배 높은 것으로, 그리고 공기중 농도가 높아감에 따라 포집효율이 감소하여 활성탄관과 유사하였으나 허용농도(200ppm) 이상에서는 활성탄관보다 포집효율이 통계적 유의성은 없으나 낮아지는 것으로 나타났다.

표 7은 시크로헥사논에 관한 것으로 허용농도의

1/10수준에서 1.91배 높은 것으로 측정되었다(p<0.01). 그러나 공기중 농도가 높아짐에 따라서 활성탄관의 포집효율이 높아지는 것으로 나타났으며 확산형은 허용농도의 40%(10ppm 이상) 수준 이상에서는 포집효율이 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

표 8은 톨루엔이 측정된 165개 시료를 허용농도의 1/2 이하 수준에서 2배 이상으로 구분하였을 때, 활성탄관의 측정치를 기준으로 하여 확산형의 성적

Table 10. Frequencies of OVM/charcoal ratio by MEK TLV-levels

TLV-levels	OVM/charcoal ratio						Total
	0.50	0.51-0.75	0.76-1.00	1.01-1.25	1.26-1.50	1.51-	
-0.125	3	4	5	5	4	18	39
	7.69	10.26	12.82	12.82	10.26	46.15	
0.126-0.25	1	1	4	4	2	3	15
	6.67	6.67	26.67	26.67	13.33	20.00	
0.26-0.50	2	3	-	1	3	2	11
	18.18	27.27	-	9.09	27.27	18.18	
0.51-1.00	-	-	3	2	1	-	6
	-	-	50.00	33.33	16.67	-	
1.01	3	-	2	-	1	-	6
	50.00	-	33.33	-	16.67	-	
Total	9	8	14	12	11	23	77
	11.69	10.39	18.18	15.58	14.29	29.87	100.00

Table 11. Frequencies of OVM/charcoal ratio by c-hexanone TLV-levels

TLV-levels	OVM/charcoal ratio						Total
	0.50	0.51-0.75	0.76-1.00	1.01-1.25	1.26-1.50	1.51-	
-0.10	1	2	4	4	10	21	42
	2.38	4.76	9.52	9.52	23.81	50.00	
0.11-0.20	-	1	4	4	-	-	9
	-	11.11	44.44	44.44	-	-	
0.21-0.40	1	1	1	2	1	-	6
	16.67	16.67	16.67	33.33	16.67	-	
0.41-	1	1	-	-	-	-	2
	50.00	50.00	-	-	-	-	
Total	3	5	9	10	11	21	59
	5.08	8.47	15.25	16.95	18.64	35.59	100.00

Table 12. Correlation coefficients and regression equations by two sampling methods

solvents	correlation (r)	regression equation	F	p-value
toluene	0.963	CH = -0.884+1.064OVM	2089.1	0.0001
xylene	0.957	CH = 0.340+0.903OVM	274.2	0.0001
MEK	0.943	CH = -1.526+1.056OVM	24.5	0.0001
c hexanone	0.562	CH = -1.501+2.133OVM	26.3	0.0001

CH : charcoal tube's value

에 대한 비가 0.75에서 1.25구간(75%수준)에 드는 가를 확인하기 위하여 구간별로 측정 시료수의 빈도를 조사한 것이다. 전체적으로 0.75-1.25 구간에 드는 시료의 수는 165개 시료중 94개 약 57%로 절반 정도만이 활성탄관에 대한 허용범위에 드는 것으로 나타났다. 또한 0.50 이하 또는 1.51 이상 구간(활성탄 측정치의 50% 미만 또는 이상)으로 벗어난 시료의 수는 38개로 약 23%였다.

표 9는 키시렌의 경우 전체 27개 시료중 20개 약 74%가 0.75-1.25 구간에 들었으며, 0.50 이하 또는 1.51 이상 구간(활성탄 측정치의 50% 미만 또는 이상)으로 벗어난 시료의 수는 3개 11% 정도인 것으로 나타났다.

표 10은 엠이케이에 관한 것으로 0.75-1.25 구간에 드는 시료의 수는 전체에서 77개 가운데 26개 약 34%에 불과하였으며, 0.50 이하 또는 1.51 이상

구간(활성탄 측정치의 50% 미만 또는 이상)으로 벗어난 시료의 수는 32개 약 42% 가깝게 나타났다.

표 11은 시크로헥사논에 관한 것으로 거의 모든 시료가 허용범위 0.75-1.25에 드는 시료는 59개 시료중 19개 약32%에 불과하였고, 0.50이하 또는 1.51이상 구간(활성탄 측정치의 50% 미만 또는 이상)으로 벗어난 시료의 수는 24개 약 41% 정도인 것으로 나타났다.

표 12는 확산형과 활성탄관에서 분석된 유기용제 측정치들의 상관성과 이에 따른 단순 회귀식을 구한 것으로 톨루엔은 상관이 0.963, 키시렌은 0.957, 엠이케이이는 0.943, 그러나 시크로헥사논은 이들보다 낮은 값인 0.562를 나타내었다.

고 찰

우리나라의 산업체의 작업환경측정 업무중 유기용제의 공기중 농도를 활성탄관 포집기를 이용하여 측정하는 것은 이제 불과 10년이 채 안되었다고 할 수 있다. 물론 그동안 산업보건 전문기관들이 가스크로마토그래프를 보유하여 공기중 유기용제 및 유기화합물의 분석을 전혀 하지 않은 것은 아니나, 대부분의 기관들은 검기관이나 또는 흡광광도계를 이용한 비색법으로 그 측정의 명맥을 유지하였을 정도이다. 실제로 1992년부터 작업환경측정을 위한 정도관리 제도가 노동부 고시(1991)로 발표되면서 1992년 4월 제1회 산업위생에 관한 정도관리를 실시하고, 또한 정부 당국(노동부)의 산업보건전문기관 지정요건이 강화되면서 불과 2-3년 사이에 전문기관들이 산업보건 사업을 위한 분석기기를 구입하면서 이제 어느정도 공기중 유기용제 및 유기화학물질의 분석시도가 이루어지고 있다. 그러나 분석기기를 비치하였다고 공기중 유해물질의 분석이 자동적으로 이루어지는 것이 아니라 공기중 유해물질을 포집하는 방법과 기술이 보완되고, 산업보건 전문가들이 이들을 적절히 활용할 수 있어야 근로자의 작업환경중 오염물질 폭로량을 평가할 수 있는 기본을 갖추었다고 할 수 있다.

공기중 유해물질의 포집에서 유기용제의 포집은 저유속의 펌프와 활성탄관을 연결하여 필요한 시간 동안 시료를 채취한 후 포집된 양을 이황화탄소 또는 다른 유기용매로 탈착하여 분석을 하게된다. 그

러나 이러한 시료포집 방법은 고가의 펌프와 작업자의 작업 방해, 시료채취 전·후의 유량 교정, 내장된 축전지의 충전, 활성탄관의 파과, 환경중 온도와 습도의 영향 등 여러가지 불만스러운 조건이 많아 실제로 시료채취를 하는 산업위생사들은 이 고전적인 방법을 탈피하고자 노력을 하고 있다(Feigley CE, 1982).

비교적 최근 활성탄관으로 시료를 채취하는 번거로움을 피하기 위한 새로운 유해물질 포집용 기구가 등장하였다. 이것은 증기나 가스가 확산(diffusion)과 침투(permeation)하는 성질을 이용하여 유해물질을 흡착 또는 반응할 수 있는 media에 포집하는 것으로 보통은 확산형 시료채취기(diffusive or passive monitor)라고 부른다. 이 채취기의 사용은 미국(OSHA, 1990)이나 구미 선진국의 산업보건 업무에서는 일반화되어 있으나 우리나라의 작업환경측정법(노동부, 1991)에는 제외되어 있으며 실제로 국내에서 일부 산업보건기관을 제외하면 사용하는 예가 극히 드물다. 그러나 현재의 과학수준에서 화학물질의 증기를 포집하는 방법이 고체포집법에 의존도가 높다는 면에서 전문기관의 산업위생사가 아니라도 사업장의 시료채취에 숙련된 감독자가 손쉽게 작업자로부터 오염물질을 채취하여 분석 후 그 폭로량을 추정할 수 있는 확산형 포집기의 사용은 큰 매력이 아닐 수 없다(Friegley and Lee, 1987).

본 연구는 확산형 시료채취기는 미국 3M-사 #3500을 사용하면서 이에 대한 기준으로 사용한 활성탄관은 비교적 장시간 시료채취를 할 수 있는 미국의 Gilian사 charcoal tube 400/200mg을 사용하였다. 확산형은 톨루엔 저농도에서 허용농도 정도까지는 측정치가 전반적으로 통계적 유의성은 없으나 높은 것으로 나타났다. 그러나 그 이상(허용농도의 2배)의 농도에서는 활성탄관의 측정치가 높은 것으로 나타났다. 키시렌의 경우는 확산형에서 다소간 높은 농도로 측정되었으나 통계적인 유의성이 없었다. 그러나 키시렌은 모두 허용농도의 1/10 수준의 농도에서만 측정되어 그 이상의 농도의 것에 대한 예측이 곤란하였다.

엠이케이 경우 거의 모든 시료에서 확산형 포집기의 시료가 활성탄관에서의 농도보다 훨씬 높은 농도를 나타내었으나, 공기중 농도가 높아짐에 따라서

그 차는 감소하는 경향이 있었다.

시크로헥사논은 저농도에서는 확산형의 시료에서 공기중 농도가 높아짐에 따라서 활성탄관의 포집효율이 높아지는 것으로 나타났다. 즉, 이 세가지 유기용제(톨루엔, 엠이케이, 시크로헥사논)는 확산형 포집에서는 공기중 농도가 높아지면 활성탄관에 비하여 흡착율이 감소하는 것이 아닌가 생각된다.

박미진(1994)은 확산형 포집기 3종류와 활성탄관을 사용하여 시험용 chamber 내에서 8시간 시료를 채취한 결과 활성탄관의 측정치를 100.0으로 하였을 때 확산형 포집기에서의 톨루엔 측정치는 14-46% 높게 측정되었다고 보고하였으며, 이외에 확산형의 포집기는 헥산과 트리크로로에치렌도 13-36%, 4-30% 높게 측정된다고 보고하였다. Tompkins와 Goldsmith(1977)은 Walden GAS-BADGE dosimeter를 사용하여 엠이케이, 에칠아세테이트, 스티렌, 벤젠 등의 유기용제 측정에 대한 실험에서 엠이케이와 스티렌은 기준값과 비슷한 수준을 나타내었고, 벤젠과 에칠아세테이트는 확산형이 다소 높게 측정되었다고 하였다. 안규동 등(1992)은 유기용제 작업장의 톨루엔 만을 대상으로 장시간 시료채취를 한 결과 10ppm 미만의 농도에서는 확산형이 높게 측정되며 농도가 높아지면서 활성탄관의 측정치가 높아지는 것을 확인하였다. 이러한 연구 결과로 볼 때 톨루엔, 키시렌 등의 방향족계에서는 큰 차이가 없었으나 지방족 탄화수소인 엠이케이, 시크로헥사논 등은 저농도에서 2배 이상의 농도로 측정되어 앞으로 더 확산형 포집기에 관한 연구개발이 필요하다고 생각된다.

본 연구에서 톨루엔은 전체 165개의 시료중 확산형과 활성탄관에서의 측정치 비가 미국 NIOSH에서 허용하는 $\pm 25\%$ 수준에 포함되는 시료는 94개, 57% 정도였으며, 키시렌은 27개 시료에서 20개, 73% 정도가 $\pm 25\%$ 허용치에 속하는 것으로 확인되었으나 채취된 시료가 모두 저농도이기 때문에 키시렌의 모든 농도에 대한 추정이 어려웠다. 엠이케이는 이 허용범위내에 드는 것이 34%에 불과하였으며, 그것도 대부분 확산형의 시료가 두 방법의 측정치 비 1.50을 초과하여 활성탄관 보다는 높게 측정됨을 알 수 있었다. 시크로헥사논 역시 엠이케이와 비슷한 양상을 나타내고 있었다.

현재 작업장 공기중 혼합유기용제 증기를 확산형

포집기와 활성탄관에 의한 시료채취를 하여 그 농도를 비교한 연구는 거의 없다. 다만 실험적으로 박미진(1994)이 이러한 실험을 한 결과 활성탄관에 대한 확산형 포집기(3종류)의 시료채취 및 분석의 포괄적 정확도가 헥산의 경우 $\pm 13.48-43.67\%$, 트리크로로에치렌은 $\pm 9.06-16.26\%$, 톨루엔 $\pm 9.59-19.71\%$ 의 오차가 확인되었다고 보고하였다. 또한 변상훈과 박승현 등(1993)도 실험적으로 가스발생장치에서 톨루엔과 ethyl acetate 두가지 용제를 사용하여 두가지 확산형 시료채취기를 활성탄관의 측정치와 비교한 바 포괄적정확도가 약 $\pm 14\%$ 에서 $\pm 19\%$ 로 95% 신뢰수준에서 $\pm 25\%$ 수준이내인 것으로 보고하였다. 그러나 두가지 용제를 사용하는 작업 현장을 대상으로 한 측정치의 비는 톨루엔 1.20, ethyl acetate는 0.94로 본 연구에서 톨루엔의 측정치 비 1.11보다 다소 높은 것으로 보고하였다. 이상의 고찰에서 확산형과 활성탄관의 측정치 비교는 실험실 실험결과는 어느정도 확산형의 시료포집을 추천할 만 하지만 혼합 유기용제를 사용하는 작업장을 대상으로 확산형을 사용하는 데는 여러가지 변수들에 의한 측정치 차가 발생하는 요인을 확인하는 것이 필요하며, 따라서 확산형 포집기의 사용확대를 위하여서도 공기중의 여러가지 혼합 화학물질에 대한 비교측정 연구를 하여 그 효용성을 확인하여야 할 것이다.

요 약

활성탄관을 이용한 작업환경 공기중 유기용제의 시료채취는 여러가지 어려운 점이 있으나 확산형 시료포집기는 이러한 점을 보완하는 새로운 포집기이다. 따라서 본 연구는 확산형 시료포집기가 혼합 유기용제를 사용하는 사업장을 대상으로 확산형 포집기와 활성탄관을 이용, 한 근로자에 대하여 동시에 각 1개씩, 총 181개의 시료를 포집하여 활성탄과 어떠한 차이가 있는가를 확인하며, 고전적인 활성탄관 시료채취법을 대신할 수 있는가를 확인하기 위하여 시도한 바 몇가지의 결과를 얻어 보고하는 바이다.

1. 활성탄관 시료포집기에 비하여 확산형의 시료포집기는 톨루엔(toluene), 키시렌(xylene) 등의 방향족 화합물은 다소 높은 농도를 나타내나 전반적

으로 통계적인 유의성은 없었다.

2. 엠이케이(methyl ethyl ketone)와 시크로헥사논(c-hexanone)에 대하여 확산형 포집기는 적어도 저농도(허용농도의 1/8 및 1/10 이하농도)에서 활성탄관에 비하여 약 2배 정도 높게 측정되었다($p < 0.01$). 그러나 공기중 엠이케이와 시크로헥사논의 농도가 증가함에 따라서 확산형의 포집효율은 활성탄관 보다 적은 것으로 나타났다.

3. 활성탄관의 측정치(B)를 1.00으로 하였을 때 확산형 포집기(A)의 측정치 비(A/B)는 톨루엔의 경우 1.11, 키시렌은 1.07, 엠이케이는 1.63, 시크로헥사논은 3.65배 였다.

4. 활성탄관과 확산형 포집기에서의 측정치 비가 0.75-1.25 범위($\pm 25\%$)에 드는 것은 톨루엔 57%, 키시렌 74%였으며, 엠이케이 34%, 시크로헥사논은 약 32%에 불과하였다.

5. 활성탄관과 확산형 포집기에서의 측정치 간의 각 유기용제 별 상관은 톨루엔 0.963, 키시렌 0.957, 엠이케이 0.943, 시크로헥사논은 0.562로서 모두 통계적으로 유의하였다.

참고문헌

박미진 : 확산포집기를 이용한 공기중 유기용제 포집에 관한 연구, 서울대학교 보건대학원, 1994
변상훈, 박승현, 오세민 : 확산 포집기를 이용한 공기중 유기용제 분석방법에 관한 연구, 한국산업안전공단, 산업보건연구원 연구자료 위생 93-7-11, 1993
안규동, 연유용, 이병국 : 활성탄관과 확산형 포집기를 이용한 공기중 톨루엔 농도의 비교, 대한산업보건협

회(산업보건연구논문집(1991)), 1992:146-153
노동부 : 작업환경측정방법(노동부 고시 제91-20호)/유해물질의 허용농도(노동부 고시 제91-21호). 노동부, 1991
노동부 : 작업환경측정에 관한 정도관리규정(노동부 고시 제94-15호), 노동부, 1994
NIOSH : *NIOSH manual of analytical methods(3rd edition) : Vol 1, 1501-1(1984), 1300(1989)*
OSHA : *Occupational Safety and Health Administration Subscription Service Volume VI-OSHA Technical Manual, 1990*
3M : *3M Organic Vapor Monitors #3500/3501 Instruction for Use, Undate*
Andors LW, Hullins HE : *Comparison of diffusional organic vapor monitors with charcoal tubes for sampling laboratory challenges to contaminant mixtures, Minesota 55144, 3M. Undate*
Tomkins PC, Goldsmith RL : *A new personal dosimeter for the monitoring in the industrial pollutants, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1977:38:371-376*
Levene SP, Gonzalez JA, Kring EV : *A dynamic vapor exposure system for evaluating passive dosimeters. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1986:47(6):347-356*
Happer M, Purnell CJ : *Diffusive sampling-A review, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1987:48(4):214-218*
Feigley CE, Lee BM : *Determination of sampling rates of passive samplers for organic vapors based on estimated diffusion coefficients, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1987:48(10):873-876*