

공기중 유기용제 농도 측정에 있어서 국산 확산포집기와 활성탄관의 비교연구

서울대학교 보건대학원 산업보건학교실

조 숙 자 · 백 남 원

-- Abstract --

Field Comparison of Korean Diffusive Sampler and Charcoal Tube Methods for Determination of Organic Vapors

Sook Ja Cho · Nam Won Paik

School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea

Korean diffusive sampler (KDS) and charcoal tube (CT) were used for sampling n-hexane, trichloroethylene and toluene in air. KDS was made by Department of Environmental Health, SNU-SPH in 1995.

Surveys were conducted at ten industrial plants with organic solvents. The relationship between two sampling methods was examined by linear regression analysis, and concentrations by two sampling methods were compared using paired t-test.

The results are as follows:

1. The geometric means by CT and KDS methods were 3.26ppm and 3.32ppm for n-hexane, 5.07ppm and 6.34ppm for toluene, and 7.18ppm and 7.90ppm for toluene, respectively. There was no significant difference between results by CT and KDS method in three organic vapors ($p>0.05$). When linear regression analysis was performed, two sampling methods were highly related; correlation coefficients were 0.98, 0.90 and 0.96 for n-hexane, toluene and trichloroethylene, respectively.
2. Airborne concentrations of n-hexane ($n=21$) were below 0.5 TLV level. The GM by two methods were almost same (3.09 ppm). And there was no significant difference between results by two methods ($p>0.05$).
3. Since toluene and trichloroethylene concentrations showed several levels, appropriate sampling rates were applied for each level. The GM of toluene concentrations by two methods at 0.5 TLV level were 3.75ppm and 5.48ppm. The KDS method overestimated the toluene concentrations at 0.5 TLV level ($p<0.05$). The GM values of toluene concentrations at 1 TLV level were 31.80ppm and 25.38ppm and at 2 TLV level were 64.13 ppm and 51.37 ppm. The KDS method underestimated concentration at both level ($p<0.05$). For trichloroethylene, the GM at 0.5 TLV level were 4.97 ppm and 7.11ppm. The KDS method overestimated the concentration of trichloroethylene ($p<0.05$).

In conclusion, concentrations of three organic vapors measured by CT and KDS were not significantly different and results by two methods were highly related. But at contain concentrations, the levels by method were significantly different. Therefore, it is suggested that sampling rate of KDS should be studied simultaneously using CT method for organic vapors.

Key words : Korean diffusive sampler, charcoal tube, field comparison, organic vapors, concentration level

1. 서 론

유기용제란 탄소를 함유하고 있는 유기화합물로서 용질의 성상을 변화시키지 않고 지방, 기름, 왁스, 페인트, 색소, 니스, 고무 등 여러 가지 물질을 균일하게 녹여서 용액을 만드는 물질을 말한다. 유기용제는 화학적 구조에 따라 지방족 및 방향족 탄화수소류, 할로겐화 탄화수소류, 알콜류, 에스테르류, 알데히드류, 케톤류, 글리콜류, 에테르류 등으로 분류될 수 있다. 유기용제는 종류에 따라 여러 가지 성질을 가지고 있지만 공통적으로 물질을 녹이는 성질과 상온에서 휘발하는 성질이 있어 다양한 용도로 산업장에서 사용될 뿐만 아니라 일상생활에서도 쉽게 사용된다. 유기용제는 휘발성이 크기 때문에 공기중에 가스, 증기 상태로 존재하며 호흡기를 통해 체내로 흡수되며, 또한 지용성이 커서 피부와 접촉시 피부를 통해 몸안으로 들어오게 된다. 몸으로 흡수된 후 여러 가지 대사경로를 거치는 과정에서 간, 신장, 중추신경계, 말초신경계 등 여러 장기에 건강장해를 일으킬 수 있다(조규상, 1991). 독성이 있는 가스나 증기의 노출로 인한 건강장해는 오래 전부터 인식되어 왔고, 이러한 유해요인을 조절하는 방향으로 산업안전보건법규가 제정되었다. 법의 제정과 더불어 작업자의 노출수준을 평가하고 각 물질별로 시간가중치(Time Weighted Average, TWA), 단시간노출기준(Short Term Exposure Level, STEL), 천정값(Ceiling) 등의 기준을 설정하여 공기중 유기용제 농도가 허용기준을 만족하도록 조치를 하였다(Harper와 Purnell, 1987).

공기중 유기용제를 측정하는 방법에는 검지관을 이용하는 방법, 펌프를 이용한 흡착제 튜브 및 확산포집기를 이용하는 방법 등이 있다. 검지관 방법은 적외선, 자외선, 불꽃 및 광이온화, 전기화학반응 및 화학발광 등을 이용해서 수초 이내에 순간농도를 측정할 수 있는 장점을 가지고 있으나 정확도와 정밀도가 낮은 단점을 가지고 있다. 반면 흡착제 튜브를 사용한 능동포집법은 정확도와 정밀도가 우수하여 공정시험법으로 인정되어 세계적으로 널리 사용되고 있다(백남원, 1995). 그러나 흡착제 튜브를 이용한 방법은 필요한 기기가 많고 준비과정이 복잡하고 시간이 많이 걸리며 작업자는 무거운 펌프를 오랫동안 착용해야 하는 부담감과, 때로는 작업에 방해가 되는 단점을 가지고 있다. 이에 비해 확산포집법은 펌프가 필요없기 때문에 준비과정이 간단하고 시료채취기가 가볍고 편리하여 많은 작업자들이 불편감 없이 착용할 수 있는 장점이 있다(Harper와 Purnell, 1987).

이러한 포집기의 장점 때문에 세계 여러 나라에서는 확산포집기를 이용한 방법이 많이 연구 개발되고 있으며, 몇몇 나라에서는 일정한 기준 안에 들어올 경우 확산포집방법을 흡착제 튜브를 이용한 시료포집방법의 대체방법으로 인정하고 있다(Pristas, 1994). 현재 우리 나라에서도 외국산 확산포집기가 판매되고 있으나 아직 공정시험법으로 채택되지 않고 있으며 가격이 비싸기 때문에 여러 가지 장점에도 불구하고 이용되지 못하고 있는 실정이다. 국내의 몇몇 연구기관 등에서 외국산 확산포집기의 성능평가에 대한 실험실 및 현장평가 자료가 나오고 있으며 더 나아가 확산포집기의 제작에 관한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 1995년 서울대학교 보건대학원 산업 보건학교실에서 자체 제작한 확산포집기(이하 국산확산포집기)(백남원 등, 1996)를 이용해서 n-hexane, toluene, trichloroethylene의 세 가지 유기용제에 대한 현장평가를 실시하여 국산확산포집기 개발에 기초자료를 제공하고자 한다. 구체적인 내용으로는 다음과 같다.

첫째, 세 가지 유기용제, n-hexane, toluene, trichloroethylene의 공기중 농도를 활성탄관과 국산확산포집기로 측정하여 시간가중치를 비교한다.

둘째, 세 가지 유기용제를 0.5 TLV, 1 TLV, 2 TLV의 농도수준으로 나누어 활성탄관과 국산확산포집기에 의한 측정농도를 비교한다.

셋째, 활성탄관과 국산확산포집기로 측정한 공기중 농도의 상관관계를 살펴본다.

II. 대상 및 방법

1) 연구대상

본 연구는 서울지역에 있는 300인 미만의 중소기업체 10개 사업장을 대상으로 1996년 2월 15일부터 5월 15일까지 실시하였다. 대상 사업장을 업종별로 보면 일반서적, 광고물 및 전산용지를 인쇄하는 인쇄업종 3개소, 반도체 회로를 만드는 전자부품제조업 2개소, 스피커 등 음향기기제조업 1개소와 자동차 스프레이도장업 3개소, 엘리베이터제조업 1개소로 구분되며, 공정별로는 인쇄공정, 에폭시 또는 페놀을 이용한 코팅작업, 용제를 이용한 세척작업, 도포기를 이용하여 접착제를 도포하는 공정 및 스프레이 도장작업으로 나눌 수 있다.

2) 연구방법

a. 측정

서울대학교 보건대학원 산업보건학 교실에서 제작한 국산확산포집기는 badge형태로 외형의 재질이 polycarbonate로 되어있으며, 길이 5.1 ± 0.4 mm, 단면적 344.8 ± 10.6 mm²이고 300 mesh의 스테인레스 철망을 이용하여 기류제어막을 만들었고, 30-35 mesh 크기

의 활성탄 350mg을 사용하였다(백남원 등, 1996). 이렇게 만들어진 국산확산포집기(Korean Diffusive Sampler, 이하 KDS법)와 저유량 펌프(SK, Gilian)를 이용한 활성탄관(Charcoal Tube, 이하 CT법)을 동시에 사용하여 시료를 채취하였다. 저유량 펌프는 시료채취 전후에 비누거품법(bubble meter)으로 정확하게 유량을 보정하였고 유량은 0.05-0.1 l/min을 유지하였다. 확산포집기는 측정할 때마다 만들어 사용하였고, 사용 후에는 깨끗하게 씻은 후 건조시켜 오염되지 않도록 보관하였다. 시료포집시간은 확산포집기의 카세트 뚜껑을 여는 순간부터 측정시간으로 계산하였고, 6시간 측정을 기준으로 오전과 오후로 나누어 각각 3시간씩 측정하였으며 개인시료와 지역시료를 채취하였다. 개인시료채취는 측정오차를 최소화하기 위해 작업자의 호흡기 근처에 활성탄관과 국산확산포집기를 나란히 달고 두 시료포집기 사이의 거리를 2cm 이내로 유지하였으며 확산포집기의 방향은 일정하게 정면을 향하도록 하여 시료를 채취하였다(Brown 등, 1984). 현장 공시료는 두 측정방법에 대하여 각각 시료채취수의 약 20%를 대 측정 시마다 만들어 시료와 똑같이 취급하여 분석한 후 시료농도를 보정하였다. 각 시료는 냉장보관 후 탈착시켜 안정화시킨 후 분석하였고 그 값을 시간가중치로 환산하였다. 시료채취중에 환기상태, 작업특성, 온도, 습도, 기류, 방해물질의 존재여부 등을 기록하였으며 온도와 습도는 LCD Digital Hygrometer(Model 3309-50, U.S.A)로 측정하였고 열선풍속계(Model ISA-15S, Japan)를 이용하여 작업장내 기류를 측정하였다(Brown 등, 1984).

b. 분석

미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health) 공정시험법에 의해 n-hexane (Method No. 1500), trichloroethylene (Method No. 1022), toluene (Method No. 1500과 Method No. 4000)을 분석하였다(NIOSH, 1994). 시료의 탈착은 활성탄관의 경우 1ml 이황화탄소(Tedia, ACS grade)를 사용

하였고 확산포집기는 1ml의 이황화탄소를 사용하여 탈착시킨 후, 불꽃이온화 검출기가 부착된 가스크로마토그래피(Gas Chromatography, Model HP 5890 Hewlett Packard사, U.S.A)로 분석하였다.

최소 7개 이상의 농도수준에서 표준액을 만들어 검량선을 구했으며 탈착효율은 두 측정방법 각각에 대해 3개 농도수준에서 3개씩 만들어 구했다. 확산포집기에 의한 시료농도는 기준 방법인 활성탄관의 농도수준을 0.5 TLV, 1 TLV, 2 TLV로 나누어 실험에 의해 결정된 국산확산포집기의 포집속도(sampling rate)를 적용하여 농도를 구하였다(표 1).

자료분석은 각 물질별로 공기중 농도의 기하평균과 기하표준편차를 구하였고 paired t-test를 이용하여 $\alpha=0.05$ 수준에서 두 측정방법간의 농도를 비교하였으며 단순선형회귀분석을 통해 두 측정방법간의 상관성을 구하였다(Brown 등, 1984; 이승욱, 1993).

III. 결과 및 고찰

1) 조사대상 및 시료채취과정

조사대상 사업장은 인쇄업 3개소, 전자부품제조업 2개소, 음향기기제조업 1개소와 스프레이 도장업 4개소로 공정별로 분류하면 표 2와 같다. 전체 98개 시료중 인쇄공정에서 42개, 코팅공정에서 3개, 세척공정에서 7개, 접착제를 도포하는 공정에서 12개, 스프레이도장 공정에서 34개의 시료를 채취하였다.

2) 두 측정방법간의 공기중 농도분포

그림 1은 toluene의 조사 사업장 전체에서 두 측정방법간의 공기중 농도를 대수정규분포표로 나타낸 것이다. Toluene의 공기중 농도는 대수정규분포를 하였고 n-hexane 과 trichloroethylene도 마찬가지로 대수정규분포를 하였다(백남원, 1995).

Table 1. Sampling Rate of Korean Diffusive Samplers by Material and Concentration

Material	Concentration Level	Amount Measured by Sampler	Concentration Measured by NIOSH Method		Calculated SR [*] (ml/min)
		mg(Q)	mg/m ³ (C)	ppm	
n-Hexane	0.5 TLV	0.2226	84.52	24.0	21.95
	1 TLV	0.5603	168.09	47.7	27.78
	2 TLV	1.0192	320.03	90.8	26.54
Toluene	0.5 TLV	0.2201	84.84	22.5	21.62
	1 TLV	0.5705	167.60	44.5	28.37
	2 TLV	1.0347	315.53	83.7	27.33
Trichloroethylene	0.5 TLV	0.2927	107.51	20.0	22.69
	1 TLV	0.7420	215.58	40.1	28.68
	2 TLV	1.3489	411.02	76.5	27.35

* SR = Sampling Rate

$$= \frac{Q}{(C)(t)} \times 1,000,000$$

where sampling time t = 120 minutes

Table 2. Number of Plants and Process in Sampling

Plant*	Process					No. of Samples
	Printing	Coating	Cleaning	Painting	Bonding	
A	10	-	-	-	-	10
B	8	-	-	-	-	8
C	8	1	5	-	-	14
D	6	2	2	-	-	10
E	10	-	-	-	-	10
F	-	-	-	-	12	12
G	-	-	-	3	-	3
H	-	-	-	10	-	10
I	-	-	-	11	-	11
J	-	-	-	10	-	10
Total	42	3	7	34	12	98

* A, B, E : Plants for printing

C, D : Plants manufacturing electronic accessories

F : Plant manufacturing speakers

G : Plant manufacturing industrial system

H, I, J : Automobile service centers

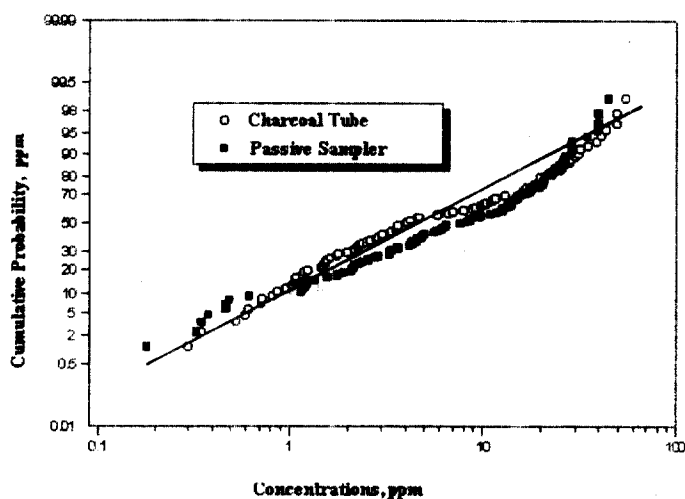


Fig.1 Cumulative Distribution of Toluene Concentrations by Sampling Method.

Table 3. Concentrations of Organic Vapors by Two Sampling Methods (GM, Range : ppm)

Compound	Type of Sampler	No. of Samples	GM	GSD	Range	Paired t-test*
n-Hexane	CT	11	3.26	2.77	0.88-22.95	-0.899
	KDS		3.32	2.72	1.24-23.83	
Toluene	CT	88	5.07	3.90	0.35-54.57	-1.472
	KDS		6.34	3.75	0.18-44.65	
Trichloro-ethylene	CT	21	7.18	3.08	0.80-31.85	0.615
	KDS		7.90	2.44	1.57-21.45	

CT : Charcoal tube

KDS : Korean diffusive sampler

* : Not significant at 5 % level

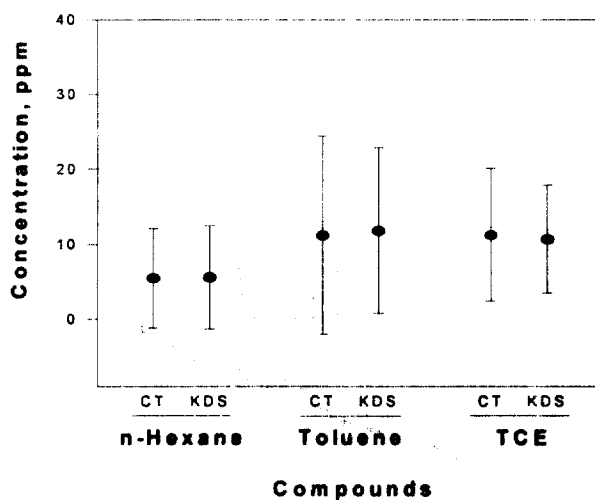


Fig. 2 Concentrations of Three Organic Vapors by Sampling Method.

3) 두 측정방법에 따른 농도비교

a. 전체농도에서 두 측정방법간의 농도비교

표 3과 그림 2는 각 유기용제별로 개인시료와 지역시료를 모두 합쳐 두 측정방법간의 기하평균, 기하표준편차 및 범위를 나타낸 것이다.

전체 사업장에서 각 물질별로 두 측정방법에 의한 농도를 비교해 보면 n-hexane(n=11)은 본드작업을 하는 사업장에서 10, 인쇄공정에서 1개가 측정되었으며 활성탄관(CT법)과 확산포집기(KDS법)에 의한 기하평균이 각각 3.26ppm, 3.32ppm으로 n-hexane의 공기중 농도는 비슷하게 나왔고, 유의수준 5%에서 짝비교(paired t-test)를 했을 때 두 측정방법간에는 유의한 차이가 없었다.

Toluene(n=88)은 1개의 사업장을 제외하고 9개 사업장에서 측정되었으며 활성탄관(CT법)과 확산포집기(KDS법)에 의한 toluene의 공기중 농도는 각각 5.07ppm, 6.34ppm으로 KDS법이 약간 높게 평가되었으나, 짝비교 결과 두 측정방법간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

Trichloroethylene(n=21)은 주로 전산용지를 인쇄하는 공장 1개소와 PCB기판을 인쇄하는 1개소에서 측정되었으며, 활성탄관(CT법)과 확산포집기(KDS법)에 의한 trichloroethylene의 공기중 농도의 기하평균이 각각 7.18ppm, 7.90ppm으로 KDS법이 약간 높았으나, $\alpha=0.05$ 에서 짝비교를 했을 때 두 측정방법간에는 유의한 차이가 없었다.

b. 세 가지 농도수준에서 두 측정방법간의 농도비교

아래 표 4는 세 가지 유기용제를 국산확산포집기의 포집속도(sampling rate)를 정하는데 기준으로 설정한 0.5 TLV, 1 TLV, 2 TLV 로 나누어 살펴본 시료수이다.

시료수는 오전과 오후로 각각 나눠 계산하였고, 시료채취기 1개로 6시간 계속 측정한 경우에는 하나로 취급하였다.

농도계산은 표 1에서 제시된 포집속도를 기준으로 기준방법인 활성탄관에 의한 공기중 농도가 0.5 TLV 이하인 경우에는 0.5 TLV 수준의 확산포집기의 포집속도를 적용하였고, 0.5 TLV~1 TLV인 경우에는 1 TLV 수준의 국산확산포집기의 포집속도를, 1 TLV~2 TLV 수준인 경우는 2 TLV 수준의 포집속도를 적용하여 확산포집기의 시료농도를 구하였다.

아래 표 5, 6, 7과 그림 3, 4, 5 는 세 가지 유기용제를 국산확산포집기의 포집속도(sampling rate)를 정하는데 기준으로 설정한 0.5 TLV, 1 TLV, 2 TLV로 나누어 살펴본 결과이다.

각 물질별로 보면, n-hexane의 경우 주로 0.5 TLV 이하에서 측정되었으며 활성탄관(CT법)과 확산포집기(KDS법)에 의한 기하평균이 모두 3.09 ppm으로 평균이 동일하였으며, 유의수준 5%에서 짝비교했을 때에도 두 측정방법간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

Toluene의 경우에는 0.5 TLV 이하에서 두 측정방법에 의한 기하평균이 활성탄관이 3.75ppm, 확산포집기가 5.48ppm으로 CT법보다 KDS법이 높게 평가되었으며, 0.5~1 TLV 수준에서는 활성탄관이

Table 4. Number of samples by concentration level

Level	≤ 0.5 TLV	0.5 ~ 1 TLV	1 ~ 2 TLV	Total
n-Hexane	21	-	-	21
Toluene	139	21	5	165
Trichloroethylene	35	3	1	39
Total	195	24	6	225

* 1 TLV : 50 ppm (ACGIH TLV-TWA)

Table 5. Comparison of Two Sampling Methods for n-Hexane by Concentration Level (GM, Range : ppm)

Concentration	Type of Sampler	GM	Range	Paired t-test	No. of Samples
≤ 0.5 TLV	CT	3.09	0.83-23.48	-0.605	21
	KDS	3.09	0.91-26.15		
0.5 ~ 1 TLV	CT				-
	KDS				
1 ~ 2 TLV	CT				-
	KDS				

CT : Charcoal tube

KDS : Korean diffusive sampler

-* : No observation data

Table 6. Comparison of Two Sampling Methods for Toluene by Concentration Level (GM, Range : ppm)

Concentration	Type of Sampler	GM	Range	Paired t-test	No. of Samples
≤ 0.5 TLV	CT	3.75	0.13-24.97	-10.30 **	139
	KDS	5.48	0.11-29.98		
0.5 ~ 1 TLV	CT	31.80	25.45-48.37	7.059 **	21
	KDS	25.38	19.31-33.12		
1 ~ 2 TLV	CT	64.13	53.77-72.35	5.191 **	5
	KDS	51.37	45.83-56.13		

CT : Charcoal tube

KDS : Korean diffusive sampler

** : Statistically significant at $p < 0.05$

Table 7. Comparison of Two Sampling Methods for Trichloroethylene by Concentration Level (GM, Range : ppm)

Concentration	Type of Sampler	GM	Range	Paired t-test	No. of Samples
≤ 0.5 TLV	CT	4.97	0.45-24.20	-2.431 **	35
	KDS	7.11	1.54-20.62		
0.5 ~ 1 TLV	CT	34.29	27.31-41.72	0.549	3
	KDS	32.23	22.69-45.05		
1 ~ 2 TLV	CT	56.28			1
	KDS	30.03			

CT : Charcoal tube

KDS : Korean diffusive sampler

** : Statistically significant at $p < 0.05$

* : No statistical analysis data

31.80ppm, 확산포집기가 25.38ppm, 1~2 TLV 수준에서는 활성탄관이 64.13ppm, 확산포집기가 51.37ppm으로 0.5~2 TLV 수준에서는 반대로 KDS법이 낮게 평가되었다. 또한 toluene을 농도수준별로 두 측정방법간에 짝비교한 결과 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 실제 현장에서 채취한 시료의 공기중 농도는 다양하게 분포하는데 0.5 TLV 이하의 모든 농도에 대해서 기준시료농도 0.5 TLV를 기준으로 확산포집기의 포집속도($SR = 21.62$ ml/min)을 적용함으로써 20-25ppm 사이의 값들은 KDS법이 높게 평가되었다. 또한 활성탄관의 공기중 농도가 25-35ppm사이에 있는 값들에 대해 1 TLV의 포집속도($SR = 28.37$ ml/min)을 적용함으로써 확산포집기가 과소평가되었다.

Trichloroethylene은 0.5 TLV 이하에서 두 측

정방법에 의한 농도가 활성탄관은 4.97ppm, 확산포집기는 7.11ppm으로 KDS법이 높게 평가되었으며, 통계적으로도 두 측정방법간에는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 0.5~1 TLV 수준에서는 활성탄관이 34.29ppm, 확산포집기가 32.23ppm으로 trichloroethylene의 공기중 농도가 활성탄관에 의해 높게 평가되었으나 두 측정방법간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. Trichloroethylene의 경우에도 활성탄관에 의한 공기중 농도가 20-25ppm 사이의 값들에 대해 0.5 TLV 수준에 해당하는 포집속도($SR = 22.69$ ml/min)을 적용함으로써 KDS법이 높게 평가되었고, 25-35 ppm 사이의 값들에 대해 28.68 ml/min의 sampling rate을 적용함으로써 KDS법이 낮게 평가되었다.

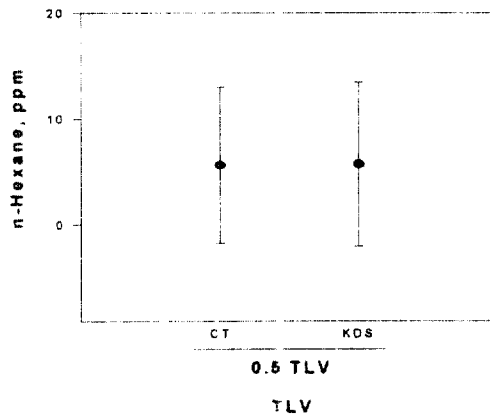


Fig. 3 Comparison of Two Results Obtained by CT and KDS Sampling Methods for n-Hexane at 0.5 TLV.

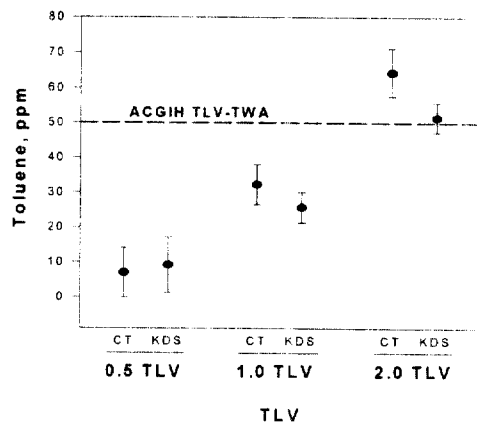


Fig. 4 Comparison of Two Results Obtained by CT and KDS

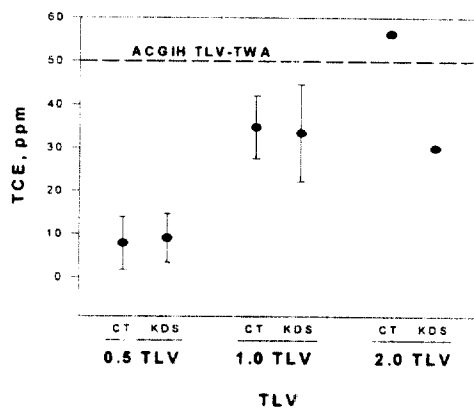


Fig. 5 Comparison of Two Results Obtained by CT and KDS Sampling Methods for Trichloroethylene by Concentration Level.

4) 공기중 농도의 상관 및 회귀분석

공기중 유기용제 농도를 평가하는 두 측정방법 (CT법, KDS법)에 대한 회귀식 및 상관계수를 표 8 과 그림 6, 7, 8로 나타내었다. 회귀식은 표준편차를 안정화시키기 위해 활성탄관과 국산확산포집기로 측정된 공기중 농도를 로그로 변환한 값을 취하였다 (Brown 등, 1984).

n-Hexane의 경우 전체시료(n=11)중 8개 시료가 5ppm 이하에서 측정되었고 3개의 시료가 5-25ppm 사이에 분포하고 있어 0.5 TLV 이상의 측정되지 않은 범위에서는 선형성을 볼 수 없었다. 측정된 범위 (0.5 TLV 이하)에서 살펴보면, 회귀직선상에서 활성탄관(CT법)과 국산확산포집기(KDS법)에 의한 공기중 농도의 두 변수간에 일치도를 나타내는 기울기 1과 y절편 0에 대해서 추정된 기울기 0.97과 y절편 0.05를 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 t-test를 했을 때, 기울기의 t 통계량은 -0.6으로 기울기 1과 추정된 기울기 0.97 사이에는 통계적으로 유의한 차가 없었다. 또한 y절편의 t 값은 0.714로 추정된 y절편 0.05와 0 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 또한 상관

계수(r)가 0.99로 두 측정방법간에 높은 상관관계를 나타내었다.

Toluene의 경우 추정된 기울기는 0.87, y절편이 0.43이었으며 기울기와 y절편(1, 0)에 대한 t-test 결과 t 값이 각각 -2.6, 4.3으로 통계적으로 유의한 차이가 있었으며 두 측정방법간에 일치도가 낮았다. 그러나 상관계수(r)는 0.90으로 높은 상관관계를 나타내었다.

Trichloroethylene의 경우에는 추정된 기울기가 0.76, y절편이 0.56으로 기울기와 y절편(1, 0)에 대한 t-test 결과 t 값이 각각 -4.8, 4.667로 toluene과 마찬가지로 두 측정방법간에 유의한 차이가 있었으며 두 측정방법간에 일치도가 낮았다. 그러나 상관계수(r)는 0.96으로 두 측정방법간에 높은 상관을 나타내었다.

Table 8. Summary of Statistical Analysis Comparing Charcoal Tube vs. Korean Diffusive Sampler^A

	intercept			slope			r	No. of Samples
	intercept(a)	S. E. ^D	t ₀ ^B	slope(b)	S. E.	t ₁ ^C		
n-Hexane	0.05	0.07	0.714	0.97	0.05	-0.6	0.99	11
Toluene	0.43	0.10	4.3*	0.87	0.05	-2.6*	0.90	88
Trichloroethylene	0.56	0.12	4.667*	0.76	0.05	-4.8*	0.96	21

A : Data were analyzed using the model $\ln y = b \ln x + a$

$$B : t_0 = \frac{b - 0}{S.E.a}$$

$$C : t_1 = \frac{a - 1}{S.E.b}$$

D : S.E. = Standard error

* : Statistically significant at $p < 0.05$

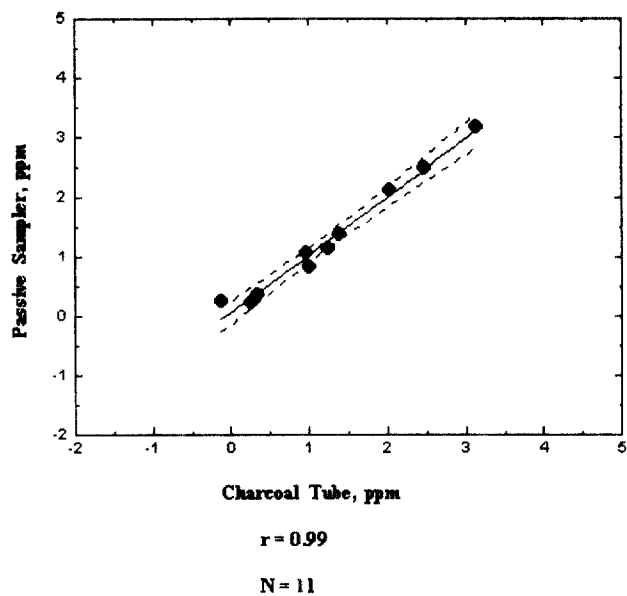


Fig.6 Relationship between CT and KDS Method Sampling Results : n-Hexane.

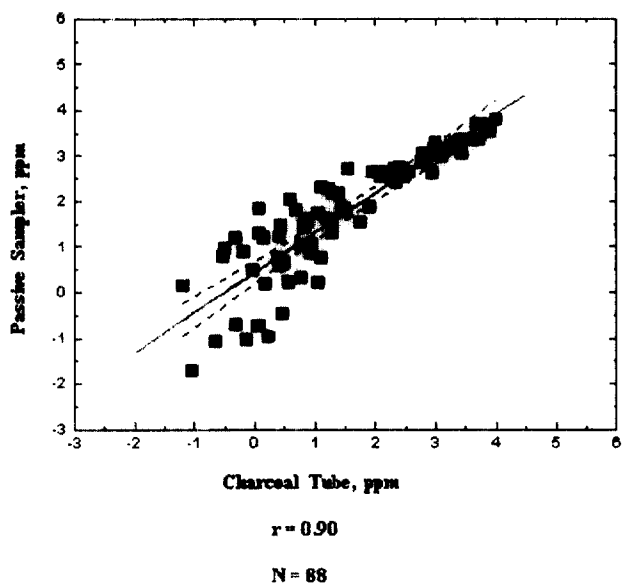


Fig.7 Relationship between CT and KDS Method Sampling Results : Toluene.

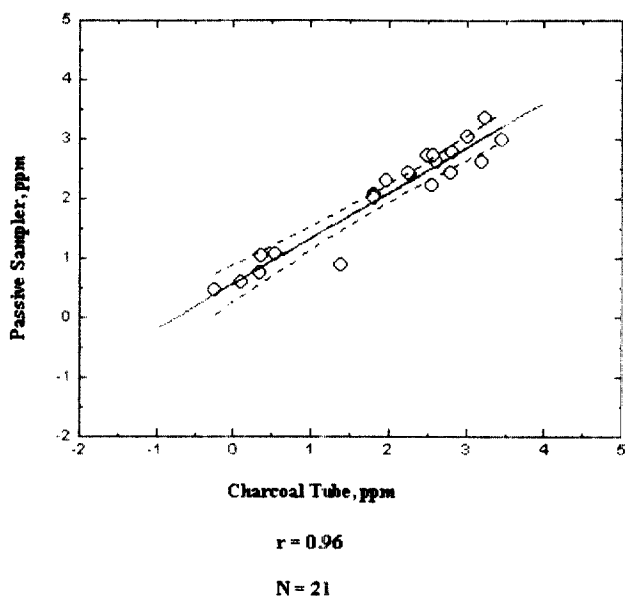


Fig. 8 Relationship between CT and KDS Method Sampling Results : Trichloroethylene.

6) 고찰

공기중 유기용제 농도를 측정하는 방법 중 하나인 확산포집기에 대한 현장평가를 실시하였다. 주로 혼합물질을 사용하는 사업장 10 곳에서 n-hexane, toluene, trichloroethylene을 대상물질로 하여 두 측정방법을 비교 평가하였다. 전체농도를 비교할 때는 8시간가중치를 사용했고 국산확산포집기의 포집속도(sampling rate)가 결정된 농도 수준별로 비교할 때에는 시료를 오전과 오후로 나누어 각각 하나씩 취급하였다.

비교분석은 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 paired t-test를 이용하여 두 측정방법에 따른 측정농도를 비교하였으며, 단순선형회귀분석을 이용하여 두 측정방법간의 상관정도와 추정된 기울기와 y 절편이 각각 1과 0에 일치하는지를 비교하였다.

앞의 결과를 기초로 국산확산포집기의 타당성을 평가할 때 고려할 사항을 살펴보면 다음과 같다.

a. 포집속도(sampling rate)

국산확산포집기의 포집속도(sampling rate)는 test chamber내의 농도를 일정한 수준으로 유지한 후 시료채취시간을 15분, 60분, 240분, 480분으로 변화시키면서 포괄적인포집속도(overall sampling rate)를 계산한 방법과 시료채취시간은 120분으로 고정하고 농도수준을 0.5 TLV, 1 TLV, 2 TLV로 변화시켜가며 계산한 실험값이 있다(백남원 등, 1996). 본 연구에서는 농도수준별로 제시된 포집속도를 적용하여 국산확산포집기에 의한 공기중 농도를 다음과 같이 구하였다. 기준으로 설정한 활성탄관법에 의한 공기중 농도가 0.5 TLV 이하인 경우에는 0.5 TLV 수준에서 계산된 포집속도를 적용하였고, 0.5 TLV이상 1 TLV 이하 사이에 있는 농도는 1 TLV의 포집속도를, 1 TLV 이상 2 TLV 이하에서는 2 TLV 포집속도를 적용하였다(표 1). Toluene을 농도수준별로 나누어 보았을 때 활성탄관에 의한 공기중 농도가 20ppm에서 25ppm사이에 존재할 때 0.5 TLV 수준의 낮은 포집

속도(SR=21.62ml/min)를 적용함으로써 성탄관에 대해서 국산화산포집기가 과대평가를 나타내었고, 25 ppm에서 35ppm 사이에서는 1 TLV의 높은 포집속도(SR=28.37ml/min)를 적용함으로써 과소평가하는 결과를 가져왔다. Trichloroethylene의 경우에도 toluene과 비슷한 양상을 띄었다. 그러므로 농도수준별로 포집속도를 적용할 때에는 기준방법인 활성탄관을 병행하여 공기중 농도를 결정하고 국산화산포집기의 포집속도를 결정해야 한다(백남원 등, 1996). 또한 작업장의 농도는 항상 일정하지 않고 변하며 농도분포도 저농도에서 고농도까지 넓은 범위를 가지고 있으므로 확산포집기의 포집속도를 결정할 때 기준방법의 농도범위를 본 연구에서 적용한 0.5 TLV 이하, 1 TLV 이하, 2 TLV 이하로 구분하는 것보다 0.75 TLV 이하, 0.75~1.25 TLV, 1.25~2 TLV로 구분하는 것이 타당하리라 생각한다.

b. 다른 물질들에 의한 방해

본 조사대상 사업장에서 사용하는 물질은 두 가지 이상 혹은 신너와 같은 혼합물질을 사용하는 곳이었으나 이 방해물질은 활성탄관과 국산화산포집기에 동시에 영향을 주었을 것이다. 그러나 국산화산포집기는 혼합물질에 대한 영향 평가가 이루어지지 않은 상태에서 실제로 어떻게 영향을 미쳤는지 알 수 없었지만 유의수준 5%에서 8시간 가중치에 대한 paired t-test를 했을 때 세 물질 모두 두 측정방법간에 유의한 차이가 없었고, 상관관계수가 0.90 이상으로 높은 상관관계를 나타내는 것으로 보아 크게 영향을 미치지 않았다고 생각한다.

c. 온도에 의한 영향

측정이나 분석시 온도조건에 따라 확산포집기의 포집속도에 영향을 줄 수 있다. 온도가 5℃에서 25℃로 증가할 때 확산성이 16% 증가했고(Frederic과 Tomkins, 1977) 실제로 타이어 제조공장에서 복합유기용제에 대한 두 측정방법간의 현장평가에서 측정장소의 온도가 5℃ 이하, 10℃~25℃ 범위에서

확산포집기의 결과는 -3~5% 정도의 차이가 있었다(John 등, 1981). 그러나 본 조사에서 온도는 오전, 오후로 나누어 측정하였고 그 평균값을 취하였는데 20±5℃ 범위에 있었으며 두 측정방법간에 유의한 차이가 없었던 것으로 보아 실제로 크게 영향을 받지 않았다고 결론을 내릴 수 있다.

d. 저장 안정성

국산화산포집기의 저장 안정성을 보기 위해 유기용제를 포집한 후 1일, 3일, 7일 동안 냉장보관 및 상온보관 후 분석한 결과 n-hexane과 trichloroethylene의 경우 온도에 따른 차이가 없었으나 toluene의 경우 저장기간에 따라 정확도가 37-42 %로 불량하였다(백남원 등, 1996). 본 연구에서는 시료를 냉장보관 후 당일 혹은 1-3일 후 탈착시켜 분석한 요인이 toluene의 결과에 영향을 미쳤으리라 생각한다.

e. 기류의 영향

국산화산포집기의 기류방향을 시료채취면과 수직과 수평방향으로 하여 포집속도에 영향을 미치는 정도를 평가하였을 때 기류방향에 따라 유의한 차이가 있었다. 또한 외국의 확산포집기의 경우에도 고기류(1m/s)가 형성될 때 3M, Gilian, SKC 제품의 정확도를 평가한 결과, 투과막 형태로 되어 있는 3M제품을 제외하고 다른 포집기는 NIOSH기준인 25 %를 초과하였다(백남원 등, 1996). 또한 확산포집기의 형태에 따라 기류의 편속도가 달라지고 badge형태의 확산포집기는 최소한 0.05-0.1m/s 이상 유지해야 하는데 그 이유는 공기의 결집현상으로 확산경로가 길어짐으로써 생기는 포집속도의 저하를 막을 수 있기 때문이다(Pristas, 1994). 본 조사에서는 지역시료의 경우 확산포집기의 방향을 정면을 향하도록 하고 오전과 오후로 나누어 기류를 측정하여 그 평균값을 취했다. 실내기류는 0.05-0.4m/s로 관찰되었으며 최소한 0.05m/s 이상 되는 곳에서 지역시료를 채취하였고 지역시료에 대한 두 측정방법간의 농도비교에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러므로 본 연구에서는 기류에 의한 영향은 적었다고 생각된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 1996년 2월 15일부터 5월 15일까지 서울지역에 있는 일부 유기용제 취급사업장을 대상으로 1995년 서울대학교 보건대학원 산업보건학교실에서 자체 개발한 국산화산포집기에 대한 현장평가를 실시하였다. 대상물질로는 n-hexane, toluene, trichloroethylene을 선택했고, 8시간가중치와 국산화산포집기의 포집속도(sampling rate)가 적용된 세 농도수준에서 활성탄관(CT법)과 확산포집기(KDS법)를 비교했다. 또한 세가지 유기용제에 대한 상관관계를 살펴보았다.

이 연구의 주요결과는 다음과 같다.

- (1) 8시간가중치에 대한 활성탄관(CT법)과 확산포집기(KDS법)에 의한 농도비교에서 n-hexane의 기하평균이 각각 3.36ppm, 3.32ppm 이었고, toluene은 5.07ppm, 6.34ppm, trichloroethylene은 7.18 ppm, 7.90 ppm이었고 두 측정방법간의 농도비교에서 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 또한 두 측정방법에 따른 회귀및 상관정도를 살펴보았을 때, 상관계수가 n-hexane은 0.99, toluene은 0.90, trichloroethylene은 0.96으로 세 물질 모두 높은 상관관계를 나타내었다.
- (2) 국산화산포집기의 포집속도(sampling rate)가 적용된 농도수준별로 나누어 보았을 때, n-Hexane($n=21$)은 0.5 TLV 이하에서만 관찰되었고, CT법과 KDS법에 의한 기하평균이 3.09ppm으로 동일하였으며 두 측정방법간에 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).
- (3) 국산화산포집기의 포집속도(sampling rate)가 적용된 농도수준별로 나누어 보면, toluene은 0.5 TLV 이하에서($SR=21.62\text{ml/min}$) CT법과 KDS법의 평균이 각각 3.75ppm, 5.48ppm으로 KDS법이 높게 평가되었다($p<0.05$). 1 TLV 이하($SR=28.37\text{ml/min}$)에서

는 두 측정방법에 의한 평균이 각각 31.80ppm, 25.38 ppm이었고 2 TLV 이하($SR=27.33\text{ml/min}$)에서는 평균이 각각 64.13ppm, 51.37ppm으로 KDS법이 CT법보다 낮게 평가되었다($p<0.05$). Trichloroethylene은 069 ml/min)에서 두 측정방법에 의한 평균이 각각 4.97ppm, 7.11ppm으로 KDS법이 높게 평가되었다($p<0.05$).

결론적으로 본 연구를 통해 공기중 유기용제 측정에 대한 국산 확산포집기와 활성탄관에 의한 공기중 농도를 비교한 결과 8시간 가중치에 대한 paired t-test에서 세 물질 모두 두 측정방법간에 유의한 차이는 없었다. 그러나 국산화산포집기의 포집속도가 적용된 농도수준별로 나누어 두 측정방법의 농도를 비교했을 때 국산화산포집기가 과대평가되거나 과소평가되었음을 알 수 있었다. 또한 시료를 채취할 때 국산화산포집기는 활성탄관과 병행하여 공기중 농도를 산출해서 농도수준별로 적절한 sampling rate를 적용해야 함을 보여준다. 향후 지금까지 연구되지 않은 다른 유기용제에 대한 확산포집기의 포집속도를 결정하는 연구작업이 진행되리라 기대된다.

참고 문헌

- 백남원 : 산업위생학개론, 신광출판사, p.63, 98, 1995
- 백남원, 공상휘, 박정임, 이영환 : 공기중 유기용제 측정에 있어서 수동식 시료채취기의 성능평가 및 한국산 수동식 시료채취기의 개발에 관한 연구 : 한국산업위생학회지 제 6권 제 1호(1996)
- 이승욱 : 통계학의 이해, 자유아카데미, p.174, 273, 1993
- 조규상 : 산업보건학, 신광출판사, p.273, 1991
- Bishop EC and Hossain MA : Field Comparison between Two Nitrous Oxide Passive Monitors and Conventional Sampling Methods : Am Ind Hyg Assoc J., 45(12) : 812-826(1984)
- Brown RH, Harvey RP, Purnell CJ and Saunders KJ :

A Diffusive Sampler Evaluation Protocol : Am. Ind. Hyg Assoc J., 45(2) : 67-75(1984)

Harper M and Purnell CJ : Diffusive Sampling-A Review. Am Ind Hyg Assoc J., 48(3) : 214-218(1987)

Hickey JLS, and Bishop CC : Field Comparison of Charcoal Tube of Passive Organic Vapor Monitors with Mixed Organic Vapors. Am Ind Hyg Assoc J., 42 : 264-267(1981)

National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) : *NIOSH Manual of Analytical Method*, 4th ed., (1994)

Pristas R : Passive Badges for Compliance Monitoring Internationally. Am Ind Hyg Assoc J., 55(9) : 841-844 (1994)

Stockon SD and Underhill DW : Field Evaluation of

Passive Organic Vapor Samplers. Am Ind Hyg Assoc J., 46(9) : 526-531(1985)

Tomkins FC Jr. : A New Personal Dosimeter for the Monitoring of Industrial Pollutants. Am Ind Hyg Assoc J., 38 : 371-377(1977)

VAN DEN HOED N : Replicate Side-By-Side Field Comparison of 3M Diffusive Samplers Versus Charcoal Tube Samplers for Styrene. Am Ind Hyg Assoc J., 48(3) : 252-256(1987)

Volute DR and Weir FW : A Dynamic-Flow Chamber Comparison of Three Passive Organic Vapor Monitors with Charcoal Tubes under Single and Multiple Solvents Exposure Conditions. : Am Ind Hyg Assoc J., 42 : 845-852(1981)