

확산형포집기(3M OVM #3500)와 활성탄관의 유기용제 포집농도 비교 및 확산형포집기의 현장 적용 가능성

장성호 · 김형아^{1)†}

가톨릭대학교 산업보건대학원 · ¹⁾가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실

Comparison between the Charcoal Tube Sampling Method and the Diffusive Sampler, and the Applicability of Diffusive Sampler in the Field

Sung Ho Jang · Hyoungh-Ah Kim¹⁾

Graduate School of Occupational Health ·

¹⁾Department of Preventive Medicine, College of Medicine, The Catholic University & Korea

To investigate the field applicability of a diffusive sampler (3M OVM #3500, passive sampling method) authors conducted a simultaneous measurement of personal organic solvents exposure in the air of the workplaces by charcoal tube with low volume sampler (active sampling method) and diffusive sampler.

Samples were collected and analyzed by NIOSH method (NMAM[®]) from thirty-eight workers in 12 factories who work in 6 different processes. Geometric mean (GM) and geometric standard deviation (GSD) were used to describe the result. To compare the results of the two methods, paired t-test was used. According to the manual of the exposure assessment of the mixed organic solvents (Ministry of Labor, Korea), Em was calculated. Simple linear regression was used to evaluate the relationship between the two methods.

Results were as follows;

1. Eight different solvents (ethyl acetate, n-hexane, toluene, xylene, acetone, isopropyl alcohol, methyl ethyl ketone (MEK), and methyl isobutyl ketone) were detected simultaneously in the two methods and the concentrations of the personal exposure were lower than 0.5 TLV level. The concentration of the

charcoal tube method was higher than that of a diffusive sampler in n-hexane and MEK ($p < 0.05$).

2. Em of the charcoal tube method was higher than that of diffusive sampler method but not significantly different and was lower than the OEL (Occupational Exposure Limit) in all 6 processes.

3. There was a significant correlation between the two methods in low concentrations of the 8 organic solvents ($p < 0.05$).

In conclusion, there was no difference in charcoal tube method and diffusive sampler method in low concentrations of some organic solvents, diffusive sampler can be applied to assess the personal monitoring in low level exposure.

Key Words : charcoal tube, diffusive sampler, organic solvents, exposure assessment

I. 서론

산업장에서 유기용제는 도장, 세척, 인쇄, 코팅, 접착, 배합 및 혼합, 페인트제조 등의 공정에서 다양한 용도로 단일 혹은 혼합 용제의 형태로 사용되고 있다. 대표적인 유기용제인 도료나 시너의 성분으로는 톨루엔, 크실렌, 에틸벤젠, 에탄올, 이소프로필알콜, 메틸에틸케톤, 메틸이소부틸케톤, 이소부틸알콜, 아세톤, 초산에틸의 검출빈도가 높다(대한산업보건협회, 1992).

공기 중 유기용제 농도를 측정·평가하기 위해서는 개인시료포집을 원칙으로 하고 있으며, 부득이 할 경우 지역시료를 포집할 수 있다(노동부, 2003a). 시료포집 방법에는 펌프를 이용한 활성탄관법과 확산과 투과현상을 이용한 확산포집법이 있는데 현재 우리나라에서는 미국산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서 제안한 능동포집법인 활성탄관법(NIOSH, 1994)을 주로 사용하고 있다(노동부, 2003a). 이 방법은 정밀도나 정확도가 우수한 반면 시료포집방법이 복잡한데 개인시료포집용 펌프를 사용해야 하고 시료포집 전후에 펌프의 유량을 보정하여야 하며 배터리가 방전되지 않도록 충분히 충전하여야 한다. 또한 근로자가 6시간 이상 펌프를 착용하고 작업을 해야 하므로 작업에 방해가 되어 불편한 점이 있고, 활성탄관은 시료의 파과현상(breakthrough)이 있어 시료 포집시 포집시간 및 유속을 적절히 조정하여야 한다(Feigley와 Chastain, 1981). 이에 반해 수동시료포집방법인 확산형포집기는 펌프가 필요 없기 때문에 준비과정이 간단하고 시료포집기가 가볍고 편리하여 많은

작업자들이 불편함 없이 착용할 수 있는 장점이 있다(Harper와 Purnell, 1987).

우리나라 노동부(2003a, 노동부)는 확산형포집기를 고체시료채취 방법으로 인정하고 있으며, 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서도 공식적으로 사용이 인정되고 있고(OSHA, 1990), 영국, 캐나다 등 선진국에서도 정확도와 정밀도가 확인된 확산형포집기의 사용을 허용하고 있다(Pristas, 1994). 이러한 장점에도 불구하고 현재 확산형포집기는 활성탄관보다 가격이 비싸며 측정 가능한 물질의 수가 제한적이고 작업장 측정·평가의 검정이 미흡하여 많이 이용되지 못하고 있어 여전히 활성탄관을 이용한 방법이 널리 사용되고 있다.

외국에서는 확산형포집기를 이용하여 작업장에서 벤젠, 에틸아세테이트, 메틸에틸케톤, 스티렌을 포집하여 양호한 평가 결과를 얻은 바 있으며(Tompkins와 Goldsmith, 1977), 확산형포집기 자체의 흡착물질의 양이나, 흡착부위의 면적(Brown 등, 1981), 반응시간과 확산속도(Bartley 등, 1983), 대상물질의 물리 화학적 성질에 따른 포집효율과 탈착효율, 저장성, 최소·최대 포집범위, 영향 인자 등에 관한 연구들이 진행되어 왔다(Harper와 Purnell, 1987; Feigley와 Chastain, 1981). 우리나라에서 확산형포집기에 관해서는 혼합유기용제의 포집효율(안규동 등, 1994; 장경순, 2002), 저장안정성, 탈착효율, 역확산, 8시간 포집과 기류, 온도와 상대습도(박미진 등, 1994; 백남원 등, 1996), 자체 개발한 확산형포집기의 현장평가(백남원과 윤충식, 1998) 등에 관한 연구가 있으나 작업공정에서 활성탄관과 확산형포집기를 사용하여 유기용제

포집효율을 비교한 연구는 극히 드물다.

본 연구는 혼합유기용제를 사용하는 도장, 인쇄, 접착, 페인트제조, 용제혼합, 코팅공정의 작업자에게 확산형포집기와 활성탄관을 동시에 부착하여 두 방법간에 시료농도의 차이를 비교하여 현장에서 확산형포집기가 활성탄관을 대신하여 물질별로 어느 정도 신뢰성 있게 사용될 수 있는지를 알아 보고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 대상

조사대상은 경기도 S 공단내 유기용제를 취급하는 12개 사업장에서 도장, 인쇄, 접착, 페인트제조, 용제혼합, 및 코팅 등 6종의 공정을 대상으로 하였다. 이들은 사전조사를 통해 방향족탄화수소, 지방족탄화수소, 알콜류 및 케톤류가 포함된 극성 및 비극성 유기용제가 동시에 존재하는 것으로 확인된 공정으로 각 공정별로 각각 5명, 10명, 6명, 8명, 5명, 및 4명의 근로자(총 38명)에게 확산형포집기와 활성탄관을 동시에 부착하여 공기 중 유기용제의 개인노출농도를 측정하였다.

2. 방법

1) 공기 중 유기용제 포집방법

활성탄관(SK, 100/50mg, catalog NO. 226-01, SKC Inc.)을 미국 Gilian사의 저유량펌프에 연결하고 유량을 0.1ℓ/min으로 보정한 후 작업자의 호흡기 위치 30cm 이내에 활성탄관을 부착하여 6시간 동안 시료를 포집하였다. 확산형포집기는 미국 3M사의 OVM(organic vapor monitor) #3500을 사용하여 활성탄관 옆에 방향을 일정하게 정면으로 향하도록 하여 같은 시간동안 포집하였다.

접수일 : 2005년 9월 29일, 채택일 : 2005년 12월 27일

† 교신저자 : 김형아 (서울시 서초구 반포동 505 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실
Tel: 02-590-1243, Fax: 02-532-3820, E-mail: kimha@catholic.ac.kr)

2) 시료 분석방법

시료의 분석은 NIOSH의 공정시험 방법(NIOSH, 1994)에 준하여 수행하였고 채취된 활성탄관은 앞층과 뒷층을 각각 다른 용기에 담아 이황화탄소를 1mℓ 씩 넣어 30분간 탈착시킨 후 불꽃이온화 검출기가 부착된 가스크로마토그래프(GC/FID, VARIAN CP-3800, VARIAN Inc.)로 분석하였고 확산형포집기는 이황화탄소를 2mℓ 를 가하여 30분간 탈착시킨 후 활성탄관 분석과 동일한 조건에서 분석하였다. 시료농도는 각 물질별 탈착율로 보정하였으며 분석에 사용된 가스크로마토그래피의 조건은 Table 1과 같다.

3) 자료분석

활성탄관과 확산형포집기로 측정된 유기용제 농도는 대수정규분포 함에 따라 각각 기하평균(geometric mean, GM)과 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD)로 나타내었으며 두 방법간의 농도차는 RD(relative difference) 값의 평균으로 나타내었다(Delcourt와 Sandino, 2001). 자료의 분석은 두 방법간에 동시에 검출된 시료만 이용하여 분석하였다. 두 측정 방법간의 평균의 차이를 검정하기 위해 자료를 로그 변환 후 paired t-test를 이용하여 농도를 비교하였고, 혼합유기용제의 농도를 평가(노동부, 2003a) 하였으며 단순회귀분석을 통해 두 방법간의 상관성을 구하였다.

III. 결 과

1. 두 포집방법에 의해 검출된 유기용제의 종류

Table 2는 동일 근로자에게서 동시에 측정된 38개의 확산형포집기와 활성탄관 시료 분석결과를 나타내었다. 시료 중 동시에 검출이 되지 않거나 검출 건수가 적었던 유기용제는 표에서 제외하였다.

Table 1. Analytical conditions of gas chromatography

Item	Analytical Condition
Column	CP WAX 52CB (WCOT fused silica, 0.25 μ m, 30m \times 0.32mm)
Detector	FID(flame ionization detector)
Oven temp.	35 $^{\circ}$ C(3min) \rightarrow 6 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 70 $^{\circ}$ C(1min) \rightarrow 15 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 110 $^{\circ}$ C(1min) \rightarrow 20 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 140 $^{\circ}$ C
Injector temp.	200 $^{\circ}$ C
Detector temp.	220 $^{\circ}$ C
N ₂ gas flow	30 ml/min
H ₂ gas flow	30 ml/min
Air flow	300 ml/min
Injection volume	1 μ l

Table 2. Number of charcoal tube and diffusive samplers where the organic solvents were detected (n=38)

	Solvents	Charcoal tube	Diffusive sampler
Nonpolar	Ethyl acetate	26	20
	n-Hexane	18	17
	Toluene	37	34
	Xylene	25	18
Polar	Acetone	15	11
	IPA	20	19
	MEK	34	31
	MIBK	15	12

IPA : Isopropyl alcohol
MEK : Methyl ethyl ketone
MIBK : Methyl isobutyl ketone

전체적으로 활성탄관 시료포집이 확산형포집기 시료포집보다 더 많은 검출빈도를 보였으며, 활성탄관을 기준으로 많은 검출 빈도를 보인 유기용제는 톨루엔(37개 시료), 메틸에틸 케톤(34개 시료), 에틸아세테이트(26개 시료), 크실렌(25개 시료), 이소프로필알콜(20개 시료), 노말헥산(18개 시료), 아세톤(15개 시료), 메틸이소부틸케톤(15개 시료) 순이었다. 활성탄관에 포집된 유기용제는 대부분 확산형포집기에도 검출되었다.

2. 두 포집방법간의 유기용제 농도

Table 3은 전체 38개 시료 중 활성

탄관과 확산형포집기에 동일한 유기용제가 포집된 시료수와 두 방법의 GM과 두 방법간의 차이(Mean RD)를 나타내었다. 메틸에틸 케톤(n=31)의 GM은 활성탄관과 확산형포집기에서 각각 9.79 ppm 및 8.21 ppm, 노말헥산(n=17)의 GM은 각각 4.00 ppm 및 2.65 ppm(평균 RD: -0.134 및 -0.279)으로 활성탄관에서의 측정값이 다소 높았으며 통계적으로 유의하였다(각각, $p < 0.01$). 톨루엔(n=34), 에틸아세테이트(n=20), 크실렌(n=18), 메틸이소부틸 케톤(n=12)은 활성탄관에서의 농도가 확산형포집기에서의 농도보다 GM이 다소 높았으나 통계적으로 유의하지 않았다(RD 평균값의 범위: -0.023 ~

Table 3. Geometric mean(GM) and geometric standard deviation (GSD) of the organic solvents concentrations simultaneously measured in charcoal tube and diffusive sampler (unit : ppm)

	Solvents	N	Charcoal tube	Diffusive	Mean RD	p*
			GM (GSD)	sampler GM (GSD)		
Nonpolar	Ethyl acetate	20	6.24(2.61)	5.47(2.37)	-0.063	0.101
	n-Hexane	17	4.00(2.74)	2.65(3.82)	-0.279	0.002
	Toluene	34	16.0(2.17)	14.6(2.40)	-0.023	0.121
	Xylene	18	3.47(2.08)	3.07(3.42)	0.122	0.536
	Acetone	11	7.84(2.23)	8.61(1.66)	0.240	0.566
Polar	IPA	18	2.04(4.86)	3.11(3.83)	0.376	0.132
	MEK	31	9.79(2.19)	8.21(2.11)	-0.134	0.001
	MIBK	12	3.15(1.91)	2.87(1.85)	0.035	0.505

*paired t-test

IPA : Iso propyl alcohol

MEK : Methyl ethyl ketone

MIBK : Methyl isobutyl ketone

$$RD \text{ (relative difference)} = \frac{C_{\text{diffusive}} - C_{\text{charcoal}}}{C_{\text{charcoal}}}$$

where,

$C_{\text{diffusive}}$: concentration of 3M OVM #3500

C_{charcoal} : concentration of charcoal tube

Table 4. Exposure assessment of mixed organic solvents in charcoal tube and diffusive sampler

Process	N	Charcoal tube		Diffusive sampler	
		Em Mean(SD)	Em Mean(SD)	Em Mean(SD)	Em Mean(SD)
Spray	3	0.399(0.315) < 1.086(0.008)		0.288(0.271) < 1.110(0.020)	
Prints	10	0.360(0.274) < 1.127(0.027)		0.280(0.204) < 1.126(0.028)	
Bonding	6	0.316(0.059) < 1.082(0.018)		0.275(0.095) < 1.088(0.021)	
Paint mixing	8	0.522(0.246) < 1.088(0.014)		0.489(0.243) < 1.089(0.011)	
Solvents mixing	5	0.276(0.155) < 1.111(0.005)		0.246(0.112) < 1.113(0.004)	
U.V coating	4	0.594(0.092) < 1.071(0.004)		0.577(0.112) < 1.070(0.003)	
Total Process	36	0.406(0.229) < 1.099(0.027)		0.355(0.212) < 1.102(0.026)	

Em : Exposure modulus

CL : Threshold limit value of mixed organic solvents (control limit)

Em ≤ CL : Below the threshold limit value

Em > CL : Excess the threshold limit value

0.122). 이소프로필알콜(n=18)과 아세톤(n=11)은 확산형포집기에서의 농도가 활성탄관에서의 농도보다 GM이 높았으나(RD 평균값: 0.376 및 0.240)

역시 통계적으로 유의하지는 않았다.

3. 두 포집방법간의 혼합유기용제 노출평가

Table 4는 공정별 두 포집방법에서 동시에 측정된 혼합유기용제의 노출을 평가한 것으로 각 공정의 노출계수(Em: Exposure modulus) 값과 혼합물

Table 5. Correlation coefficients and regression equations between the two sampling methodsA

	Solvents	N	Intercept	Slope	R*
Nonpolar	Ethyl acetate	20	0.16	0.84	0.94
	n-Hexane	17	-0.80	1.28	0.96
	Toluene	34	-0.20	1.04	0.92
Polar	Xylene	18	-0.47	1.28	0.76
	Acetone	11	1.15	0.49	0.77
	IPA	18	0.70	0.61	0.71
	MEK	31	0.04	0.90	0.95
	MIBK	12	0.26	0.69	0.73

IPA : Isopropyl alcohol

MEK : Methyl ethyl ketone

MIBK : Methyl isobutyl ketone

^AData analyzed using the model $\ln y = b \ln x + a$

(x: diffusive sampler concentration, y: charcoal tube concentration)

* $p < 0.05$

의 노출기준(CL: Control limit) 값의 평균과 표준편차를 나타냈다(각각의 유기용제는 상가작용이 적용됨을 확인하였고, 혼합유기용제에 대한 평가는 표준화값을 해당물질별로 구한 다음 혼합물질의 노출계수(Em)를 구하여 총노출율을 구하고 시료채취분석오차를 구하여 혼합물의 노출기준(CL)을 구한다). 도장공정의 시료 2개는 두 방법 모두에서 검출되지 않아 결과에서 제외하였다. 활성탄관과 확산형포집기 모두 Em 값이 CL 값보다 작아 ($Em < CL$) 노출기준 미만으로 평가되었고, 활성탄관에서의 Em 값은 확산형포집기의 Em 값 보다 다소 높은 값을 나타냈다.

4. 두 포집방법간의 회귀분석

Table 5는 활성탄관과 확산형포집기에서 측정된 유기용제의 농도에 대한 회귀식 및 R 값을 나타내었다. 8종의 유기용제는 모두 두 방법간 통계적으로 유의한 상관이 있었으며 이소프로필알콜, 메틸이소부틸케톤, 크실렌,

아세톤은 R값이 0.71에서 0.77이었고, 톨루엔, 에틸아세테이트, 메틸에틸케톤, 노말헥산은 R값이 0.92에서 0.96이었다. Fig. 1은 8종의 유기용제 농도를 각각 대수변환하여 회귀식과 R 값을 나타내었다.

IV. 고 찰

확산형포집기의 사용이 활성탄관에 비해 비용-효과가 높다는 보고가 있으며(Nothstein 등, 2000), 지금까지 확산형포집기의 포집효율과 온도, 습도, 기류, 저장안정성, 역확산 등에 관한 연구가 국내외에서 진행되었다(Werner, 1981; Hearl과 Manning, 1985; 한진구 등, 1995; 변상훈 등, 1996; 조숙자와 백남원, 1997). OSHA(1990)에서는 공식적으로 확산형포집기의 사용을 인정하며 영국, 캐나다 등 선진국에서도 정확도와 정밀도가 확인된 확산형포집기의 사용을 허용하고 있다(Pristas, 1994).

활성탄관과 확산형포집기에 동시에

검출된 빈도가 높은 유기용제는 톨루엔, 메틸에틸케톤, 에틸아세테이트, 크실렌, 이소프로필알콜, 노말헥산 및 아세톤, 메틸이소부틸케톤의 순이었다. 대부분의 경우 사전조사를 통해 공기 중 유기용제 성분을 파악하여 검출이 되지 않은 경우는 공기 중에 유기용제 성분이 존재하지 않는 것으로 판단되며, 사용된 컬럼은 극성과 비극성 물질 모두 분석이 가능한 것으로 컬럼에 의해 검출되지 않았을 가능성은 거의 없다고 판단된다.

8종의 유기용제 농도는 톨루엔, 노말헥산, 메틸에틸케톤이 0.5 TLV 이하, 메틸이소부틸케톤, 이소프로필알콜, 크실렌이 0.1 TLV 이하, 에틸아세테이트 아세톤이 0.05 TLV 이하이었다. 이러한 농도수준은 우리나라 전반적인 작업환경측정치 1 TLV 이하라는 점을 고려할 때 부합되는 결과이다(노동부, 2003b).

활성탄관에서 측정된 농도를 기준으로 두 방법간의 농도를 비교했을 때, 노말헥산과 메틸에틸케톤은 두

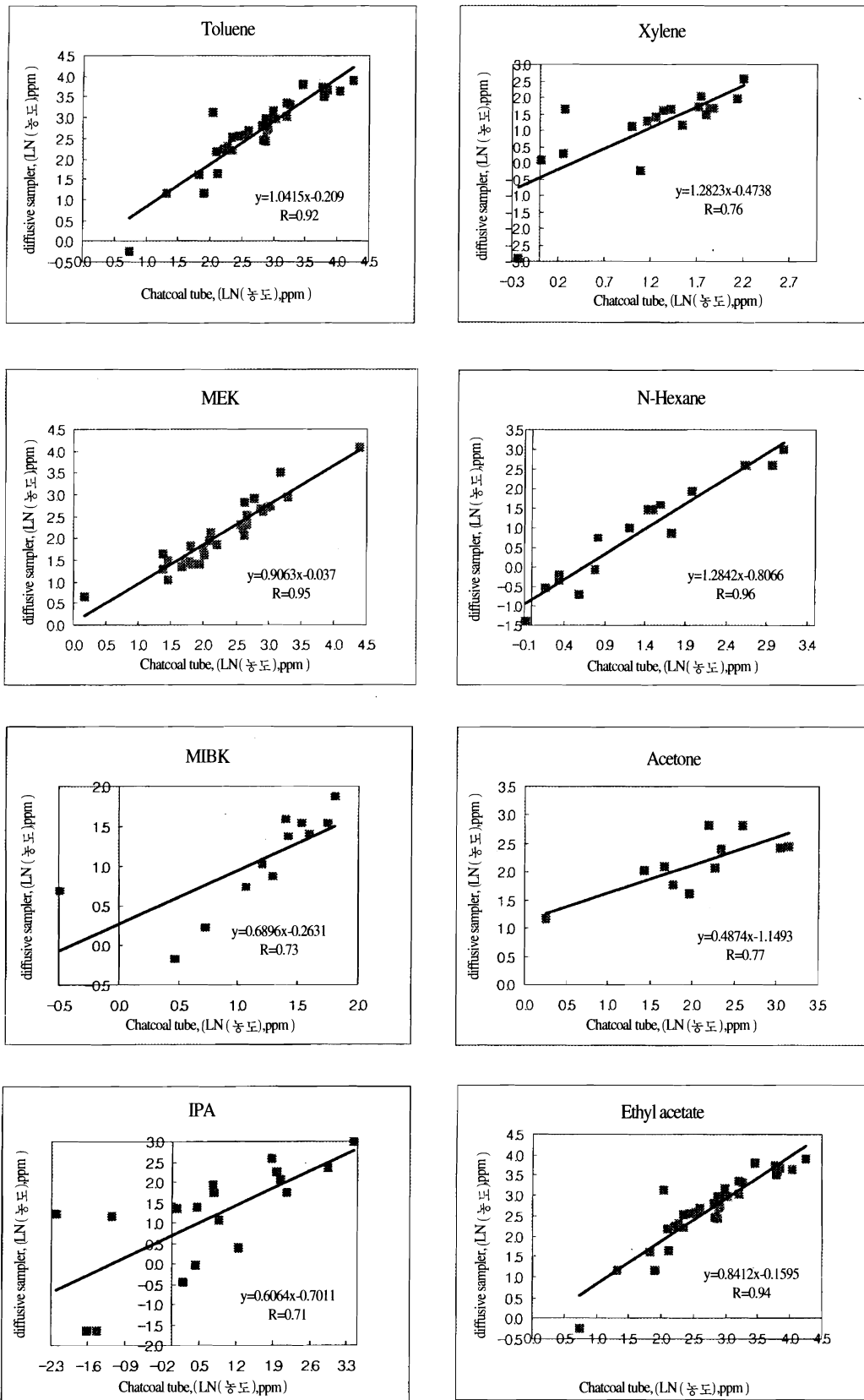


Fig. 1. Relationship between charcoal tube and a diffusive sampler method for organic solvents.

방법간에 통계적으로 유의한 차이가 있었고 나머지 유기용제는 유의한 차이가 없었다. 유기용제 별로는 톨루엔, 크실렌, 메틸에틸케톤, 메틸이소부틸케톤, 노말헥산, 에틸아세테이트는 활성탄관의 측정농도가 높았으며 아세톤과 이소프로필알콜은 확산형포집기의 측정농도가 높았다. 모든 측정값이 TLV 이하 수준으로 추후 확산형포집기에 의한 저농도의 유기용제 측정에 관한 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 두 방법간의 농도차이를 비교하는 방법으로 평균비교와 RD값 비교를 하였는데 크실렌과 메틸이소부틸케톤은 확산형포집기의 농도가 과대평가 된 결과를 얻어 평균비교와 상이한 결과를 얻었다. RD값의 비교는 평균비교와 달리 활성탄관과 확산형포집기의 상대적인 차이를 짐작할 수 있는 장점이 있다. 장경순(2002)은 도장공정의 혼합유기용제를 비교한 연구에서 톨루엔과 에틸벤젠이 두 방법간의 평균농도에 유의한 차이가 있었으며 확산형포집기의 농도가 더 높다고 보고 하였으나 본 연구에서 톨루엔은 두 방법간에 유의한 차이가 없어 본 연구와 상이한 결과를 보였다. 이는 본 연구는 도장공정 외의 공정에서도 시료채취가 이루어졌고 대상 사업장의 농도가 0.5 TLV 이하 수준에서 이루어져 장경순(2002)의 1/8 TLV 이하농도에서 연구와 차이가 있는 것으로 판단된다.

안규동 등(1994)은 톨루엔, 크실렌, 메틸에틸케톤, 시클로헥사논을 대상으로 두 방법간의 차이를 비교한 연구에서 톨루엔은 0.5 TLV 이하에서 활성탄관이 높게 측정 되었지만 유의한 차이는 없었고, 메틸에틸케톤은 0.5 TLV 이하에서 확산형포집기가 유의하게 높게 측정 되었으며, 크실렌은 0.1 TLV 이하에서 확산형포집기가 높게 측정 되었다. 톨루엔은 비슷한 결과를 얻었지만 메틸에틸케톤과 크

실렌은 상이한 결과를 얻었는데 이는 공기 중 농도에 따른 시료채취시간(1-6시간), 시료포집매체 양(400/200mg) 또는 대상 공정의 차이가 있기 때문으로 생각된다. 한편, 조숙자와 백남원(1997)은 국산확산포집기와 활성탄관을 비교한 연구에서 노말헥산, 톨루엔, 트리클로로에틸렌은 전체 농도 비교에서 국산확산포집기의 농도가 활성탄관의 농도보다 높긴 하였지만 유의한 차이는 보이지 않았다. 국산확산포집기의 농도가 높은 이유는 본 연구와 비교해 볼 때 상대적으로 측정시간이 적었고, 톨루엔과 트리클로로에틸렌의 경우 0.5 TLV 이상의 시료가 상당부분 존재하여 전체 평균농도에 영향을 주었을 것으로 생각되어 본 연구 결과와는 차이가 있을 것으로 생각된다.

두 방법에 의해 검출된 혼합유기용제의 작업환경측정 평가결과, 6개의 공정이 모두 노출기준 미만으로 평가되었다. 활성탄관에서의 노출계수가 확산형포집기의 노출계수보다 높아 확산형포집기의 평가결과가 활성탄관의 평가결과와 보다 과소평가 되었는데 이는 두 방법간의 포집능력 및 온도, 습도, 기류 등 작업장의 환경조건에 의한 영향이 있을 것으로 생각된다. 활성탄관과 확산형포집기의 두 방법간의 단순회귀분석을 실시한 결과 통계적으로 유의한 상관관계를 나타냈고, R 값도 비교적 높아 타 연구와 유사한 결과를 보였다(John 등, 1981; 안규동 등, 1994; 조숙자와 백남원, 1997; 장경순, 2002). 농도수준은 톨루엔, 노말헥산, 메틸에틸케톤이 0.5 TLV 이하, 메틸이소부틸케톤, 이소프로필알콜, 크실렌이 0.1 TLV 이하, 에틸아세테이트와 아세톤이 0.05 TLV 이하로 비교적 저농도의 분포를 보여 주었다.

노말헥산과 메틸에틸케톤을 제외하고는, 0.1 TLV에서 0.5 TLV 수준의 유기용제를 취급하는 공정에서는 활성

탄관법과 확산형포집기에 의한 농도 측정시 두 방법간에 통계적으로 유의한 차이가 없어 공기 중 혼합유기용제 포집·노출 평가시 사전조사를 통해 유기용제의 종류 및 현장농도를 고려하면 확산형포집기의 사용이 가능한 것으로 판단된다.

본 연구의 제한점으로는 각 공정별 시료채취수가 적어 측정된 값이 해당 공정을 대표한다고 할 수 없으며, 측정된 유기용제의 종류가 8종으로 적었고, 대상 공정에서 측정된 유기용제의 농도가 모두 0.5 TLV 이하로 낮아 그 보다 높은 농도는 비교할 수 없다는 점이다. 현재까지 국내에서의 확산형포집기에 대한 현장평가 연구가 부족한 실정을 고려할 때 앞으로 본 연구에서 대상이 되지 않은 다양한 공정 및 저농도의 유기용제에 대해 지속적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

V. 결 론

혼합유기용제 작업환경측정 평가에 확산형포집기를 사용할 수 있는지를 알아보고자 경기도 S 공단의 12개 사업장에서 도장, 인쇄, 접착, 페인트제조, 용제혼합, 코팅공정에 근무하는 근로자 38명을 대상으로 활성탄관과 확산형포집기를 개인시료로 동시에 포집하여 GC/FID로 유기용제를 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 활성탄관과 확산형포집기에서 동시에 검출된 8종의 유기용제 농도는 0.5 TLV 미만이었으며, 노말헥산과 메틸에틸케톤의 농도는 두 방법간 농도에 유의한 차이가 있었고 ($p<0.05$), 톨루엔, 에틸아세테이트, 크실렌, 메틸이소부틸케톤은 활성탄관에서의 농도가 높았고, 이소프로필알콜과 아세톤은 확산형포집기에서의 농도가 높았으나 통계적으로 유의하지 않았다.

2. 혼합유기용제 노출평가 결과, 활

성탄관의 노출계수(Em) 값이 확산형 포집기 노출계수 값 보다 다소 높았으나 통계적으로 차이는 없었으며 전 체공정에서 활성탄관과 확산형포집기 모두 노출기준 미만으로 평가되었다.

3. 확산형포집기와 활성탄관으로 포집된 8종류의 유기용제 측정결과를 단순회귀분석 한 결과 모두 통계적으로 유의한 상관이 있었다($p < 0.05$).

이상의 연구결과로 확산형포집기는 노말헥산과 메틸에틸케톤을 제외한 6종의 유기용제에 대해 톨루엔은 0.5 TLV 이하 농도, 메틸이소부틸케톤, 이소프로필알콜, 크실렌은 0.1 TLV 이하농도, 에틸아세테이트와 아세톤은 0.05 TLV 이하 농도에서 혼합유기용제 노출 평가시 현장 적용이 가능한 것으로 판단된다.

REFERENCES

- 노동부. 작업환경측정 및 정도관리 규정 (노동부고시 제2003-62호). 2003a.
- 노동부. 작업환경관리백서. 2003b :38-67
- 노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(노동부고시 제2002-8호). 2002.
- 대한산업보건협회. 보건관리매뉴얼. 1992:1-11
- 박미진, 윤충식, 백남원. 확산포집기를 이용한 공기 중 유기용제 포집에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1994;4(2):208-223
- 백남원. 작업환경측정 및 평가. 신광출판사, 2001:224-246
- 백남원. 산업위생학개론. 신광출판사, 1997:61-90
- 백남원. 윤충식. 유기용제 측정을 위한 국산 수동식 시료채취기의 현장평가. 한국산업위생학회지 1998;8(1):124-132
- 백남원, 박미진, 윤충식. 공기중 유기용제 농도 측정에 있어서 수동식 시료채취기의 성능평가 및 국산 수동식 시료채취기의 개발에 관한 연구 제 1부 : 외국산 수동식 시료채취기의 성능 평가. 한국산업위생학회지 1996;6(1):109-124
- 변상훈, 박천재, 오세민, 이창하. 활성탄 섬유를 이용한 확산포집기의 공기 중 유기용제 포집효율에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1996;6(2):187-201
- 안규동, 연유용, 이병국. 확산형포집기와 활성탄관을 이용한 공기 중 혼합유기용제측정에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1994;4(2):127-136
- 장경순. 확산형포집기와 활성탄관을 이용한 조선업 도장공정에서 공기 중 혼합 유기용제의 포집비교. 석사학위논문. 가톨릭대학교 산업보건대학원. 2002.
- 조규상. 산업보건학. 수문사, 1991 : 273-284
- 조숙자, 백남원. 공기 중 유기용제 농도 측정에 있어서 국산 확산포집기와 활성탄관의 비교 연구. 한국산업위생학회지 1997;7(1):33-48
- 한국 3M(주). 확산모니터 측정 및 분석가이드(#3500, #3520 유기증기용 모니터)
- 한진구, 노영만, 김현욱. 확산포집기로 공기 중 혼합유기용제 포집시 온도와 상대습도가 포집효율에 미치는 영향. 한국산업위생학회지 1995;5(2):200-211
- ACGIH. Air sampling instruments for evaluation of atmospheric contaminants. 9th ed., ACGIH, 2001:439-455
- Bartley DL, Doemeny LJ and Taylor DG. Diffusive monitoring of fluctuating concentrations. Am Ind Hyg Assoc J 1983;44(4):241-247
- Brown RH, Charlton J and Saunders KJ. The development of an improved diffusive sampler. Am Ind Hyg Assoc J 1981;42:104-111
- Brown RH, Harvey RP, Purnell CJ and Saunders KJ. A diffusive sampler evaluation protocol. Am Ind Hyg Assoc J 1984;45(2):67-75
- Delcourt J and Sandino JP. Performance assessment of a passive sampler in industrial atmospheres. Int Arch Occup Environ Health 2001;74:49-54
- Feigley CE and Chastain JB. An experimental comparison of three diffusion samplers exposed to concentration profiles of organic vapors. Am Ind Hyg Assoc J 1981;43:227-234
- Harper M and Purnell CJ. Diffusive sampling-A review. Am Ind Hyg Assoc J 1987;43(3):214-218
- Hearl FJ and Manning MP. Transient response of diffusion dosimeters. Am Ind Hyg Assoc J 1985;41:778-783
- John LS, Hickey PE and Bishop CC. Field comparison of charcoal tubes and passive vapor monitors with mixed organic vapors. Am Ind Hyg Assoc J 1981;42(2):264-267
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Method. 4th edition, DHHS(NIOSH) Publication NO. 94-113, NIOSH, Cincinnati, Ohio, 1994.
- Nothstein, GTL, Hahne RMA, Spence MW. Evaluation of the cost-effectiveness of various passive monitors and active monitors for industrial hygiene sampling. Am Ind Hyg Assoc J 2000;60:64-68
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Occupational Safety and Health Administration Subscription Service Volume VI - OSHA Technical Manual, 1990.
- Pristas R. Passive badges for compliance

- monitoring internationally. Am Ind Hyg Assoc J 1994;55(9):841-844
- Tompkins FC, Goldsmith RL. A new personal dosimeter for the monitoring in the industrial pollutants. Am Ind Hyg Assoc J 1977;38:371-376
- Varian technology Korea corp. Chromatography & spectroscopy supplies. Varian. 2001: 429-515
- Werner MD. The effects of relative humidity on the vapor phase adsorption of trichloroethylene by activated charcoal. Am Ind Hyg Assoc J 1981;46:585-590