한국환경보건학회지, 제32권 제5호(2006)
Kor. J. Env. Hlth., Vol. 32, No. 5, pp 485~491(2006)

공기 중 니코틴 포집에 있어 국산 확산포집기와 능동포집기의 비교 평가

김효철† · 백남원* · 이경숙 · 김경란 · 김 원**
농촌진흥청 농촌자원개발연구소, *국제환경컨설턴트, **원진노동환경건강연구소

A Comparison of Nicotine Diffusive Sampler and XAD-4 Tube for Determination of Nicotine in ETS

Hyo Cher Kim† · Nam Won Paik* · Kyung Suk Lee · Kyung Ran Kim · Won Kim**
Rural Resources Development Institute RDA
**International Environmental Consultants*
***Wonjin Institute for Occupational and Environment Health*
(Received August 2, 2006/Accepted October 19, 2006)

ABSTRACT

It is widely known that Environmental Tobacco Smoke(ETS) is not good for health. ETS is composed of a lot of chemicals. So indicators are needed to evaluate the risk of ETS in air. One of the indicators is Nicotine. Active sampler has been used to measure nicotine concentration in air. The experiments were conducted to compare the active sampler method with diffusive sampler in exposure chamber and smoking areas, respectively. Sampling rate was 40.5 ml/min in exposure chamber. Experimental sampling rate (40.5 ml/min) was more than theoretical sampling rate (33.52 ml/min). And the higher was the concentration in air, the higher was experimental sampling rate. The average desorption rate was 113.6%. The overall precision was 7.31%. The overall accuracy was 18.96%, which were under NIOSH criteria. The average(GM) concentrations of nicotine by two sampling methods were 8.29 μg/m^3 (active sampler), 7.54 μg/m^3 (diffusive sampler) in smoking area and smoking room. There was no regression between active sampler and diffusive sampler (R^2=0.2397). But slope, coefficient of determination was 1.017, 0.9292, respectively after removing outliers. And the slope (1.017) was close to the theoretical slope (1). In conclusion, this study indicated that diffusive sampler can be used to evaluate concentration of nicotine in air instead of active sampler.

Keywords: nicotine, diffusive sampler, active sampler, sampling rate, desorption efficiency, overall accuracy, storage

I. 서 론

환경성 담배 연기(Environmental Tobacco Smoke, ETS)가 건강에 막대한 악영향을 일으킨다는 것은 잘 알려진 사실이다. 이런 위험성을 가지고 있는 ETS의 위해성을 평가하기 위해서는 적절한 노출 평가가 필요한데 인간 집단에 대한 노출을 평가하는 방법은 직접 환경을 측정하는 방법, 개인 모니터링, 설문지, 생물학적 지표를 이용하는 방법으로 크게 구분할 수 있다.

이중 환경을 측정하는 방법이나 개인 모니터링의 경우 ETS를 대표할 수 있는 지표물질이 필요하다. ETS를 평가하기 위한 지표물질의 조건은 ETS에 특이적이며 다른 ETS 성분에 일정한 상관성이 있어야 한다. 또한 담배의 종류에 상관없이 비슷한 비율로 발생되어져야 하며 작은 흡연율에도 충분한 양이 검출될 수 있어야 한다는 것이다. 현재까지의 연구결과에 의하면 이런 조건들을 만족시키는 물질로서 니코틴과 그의 대사산물인 코티닌, 3-EP(3-ethenyl pyridine), RSP(respirable suspended particulate), UVPM(ultraviolet particulate matter) 등이 알려져 있다.[1,3]

이 가운데 일반적인 지표물질로 니코틴이 자주 사용되어 오고 있다. 담배제품은 니코틴의 주요 발생원이며 증기상-니코틴은 담배의 특이적인 지표라고 보고되고 있다. 또한 공기 중 니코틴 수준은 RSP, 흡연 담배 개

†Corresponding author : Rural Resources Development Institute RDA
Tel: 82-31-299-2547, Fax: 82-31-299-0453
E-mail : kimhc@rda.go.kr

피수와 상관성이 좋은 것으로 보고되고 있다.[2,4,5] 현재 니코틴 노출을 측정하기 위한 방법으로는 XAD-4 흡착관을 이용한 능동포집법이 가장 많이 사용되고 있다. 이 방법은 NIOSH에서 권고하는 방법으로 흡착관을 펌프에 연결시켜서 일정 유량을 흡착관으로 통과시킨 다음 포집된 니코틴을 정량하는 방식이다.[9] 이 방법은 정확도가 여러 연구에서 입증되어 있으나 필요한 기구가 많으며, 과정이 복잡하다는 단점을 가지고 있다. 또한 개인용 시료 포집 펌프가 무거워 그것을 착용한 사람이 많은 불평을 호소하고 그로 인해 장시간의 측정이 어렵다.

이에 반해 확산포집기는 개인용 펌프가 필요없기 때문에 기구의 제한 없이 많은 사람에게 착용시킬 수 있으며 펌프의 보정이나 밧데리 충전 등의 과정을 생략할 수 있다. 또한 가볍고 착용이 편리하기 때문에 사람들이 불편 없이 장시간 착용할 수 있다는 장점이 있다.

이러한 장점들은 역학연구와 광범위한 계층의 니코틴 노출 조사에 있어 유용할 수 있기 때문에 확산포집기의 정확도가 기존 능동포집기와 비슷하다는 것이 입증이 된다면 ETS를 평가하기 위한 많은 연구에서 능동포집기 대신 사용될 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 확산포집기의 정확도를 제어된 환경에서 검증을 하고 여러 가지 노출 상황에서 확산포집기와 능동포집기의 정확도를 비교함으로써 확산포집기의 사용 근거를 마련하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구재료

1) 확산포집기의 제작

제작된 확산포집기는 기본적으로 니코틴의 흡착을 위한 흡착면과 강한 기류를 제어하고 채취율을 일정하게 하기 위한 기류제어막, 그리고 농도 경사를 결정하기 위한 Case로 구성되어 있다(Fig. 1).

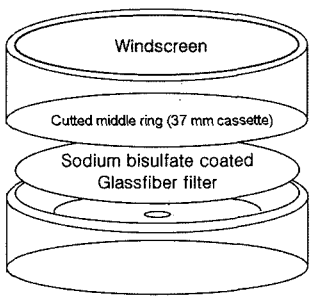

Fig. 1. Design of diffusive sampler.

흡착면은 한쪽 면이 Teflon 코팅된 Glassfiber 필터를 4% Sodium bisulfate 용액에 약 15초 동안 담근 뒤 데시케이터에서 Teflon 코팅된 면을 아래쪽으로 해서 하루동안 말려 제작하였다.[7,8] 케이스와 기류제어막이 확산포집기에 적합하기 위해서는 1) 니코틴과 흡착 또는 반응하지 말아야하며 2) 사람들의 활동에 의해 쉽게 손상받지 않아야 하며, 3) 니코틴을 확산포집기 안으로 통과시킬 수 있어야 한다.[8]

기류제어막으로는 10 μm pore size를 가진 Nucleopore Polycarbonate 필터를 사용하였고 접착제를 사용하여 Case에 부착하였다. Case는 일반 작업환경측정에서 분진이나 중금속 포집에 많이 사용하는 37 mm Cassette를 사용하였다. Case는 니코틴 채취가 끝날 때마다 Sonication을 약 30분간 해 준 뒤 증류수로 세척 하고 건조시켜 사용하였다. 확산포집기의 규격은 단면적(A)는 약 8.11 cm^2이며 확산길이(L)은 약 0.9 cm이었고 따라서 확산포집기의 포집율을 결정하는 요소인 A/L은 약 9.011 cm이었다.

2) 대상물질

니코틴의 발생방식은 담배인삼공사에서 판매하는 '디스'를 별도의 담배연소관(유리챔버)에서 자연 연소시켜 발생시켰다.

2. 니코틴 포집효율 비교

1) 챔버 실험

확산포집기의 포집율, 포집율의 일정성, 분석회수율, 포괄적인 정확도을 온, 습도, 풍속 등이 제한 조절되는 챔버를 통하여 분석하였다. 기존의 확산포집기 실험에서는 대상 물질의 알고 있는 농도(known concentration)를 챔버 안에서 일정하게 유지시켜 주며 확산포집기에 노출시키고 확산포집기의 대상물질에 대한 채취율을 결정해 주었다. 그러나 본 연구에서는 담배로 니코틴을 발생시키므로 노출 챔버내 농도를 일정하게 맞추어 줄 수가 없었기 때문에 확산포집기를 담배가 완전히 연소된 후에 서로 다른 시간동안 챔버 안에서 노출 시킴으로서 각 확산포집기가 서로 다른 양의 니코틴을 흡착하도록 하였다. 실험 기기의 구조는 담배 연소관, 노출 챔버(0.68 m×0.68 m×0.68 m, 아크릴), 고유량 펌프, 소형 송풍기로 구성되어 있다(Fig. 2).

고유량 펌프를 사용하여 약 10 lpm의 유량으로 실험실 공기를 담배연기와 혼합한 뒤 노출 챔버내로 빨아들여 챔버의 환기율은 약 1.91 ACH (Air Change per Hour)로 유지하였고 이 때 온도는 14-21℃, 습도는 35~75%이었다. 실험하는 동안 기류를 발생시킬 수 있도록 내부에 송풍기를 설치하여 확산포집기의 기류제

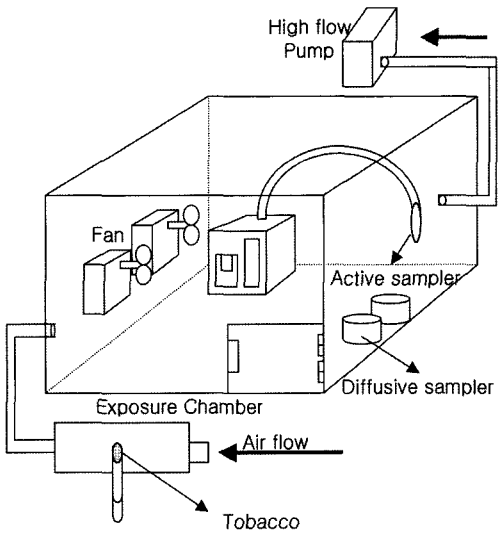

Fig. 2. Design of nicotine exposure chamber.

어막 위에서의 풍속이 0.1~0.3 m/s로 유지되게 하였다. 능동포집기용 펌프 설치를 위하여 적절한 크기의 문을 설치해 놓았다.

노출 챔버내에 농도 포집을 위해서 능동포집기를 설치한 후 확산포집기를 능동포집기로부터 5 cm 내외에서 side by side로 설치하였다. 능동포집기는 XAD-4 흡착관과 0.980~1.020 lpm 사이로 유량이 보정된 고유량 펌프를 연결하여 사용하였다.

시료포집 시간은 확산포집기가 노출 챔버로 들어가는 순간부터 포집시간으로 계산하였고 담배가 완전히 연소된 후 6시간 이내에서 1~2시간 동안 니코틴 포집을 하였다.

2) 현장 실험

챔버 실험과 마찬가지로 시료 포집 시간은 확산포집기를 밀폐된 용기에서 꺼내어 현장에 설치하는 순간부터 계산하였고 일반 사무환경에서의 흡연구역과 흡연실을 대상으로 니코틴을 채취하였다.

확산포집기와 능동포집기는 각 측정장소에서 3~5 cm 간격으로 side by side로 설치되었으며 각 시료는 냉장보관 후 7일 이내 분석을 하였다.

3. 니코틴 분석방법

1) 능동포집기

니코틴의 포집과 분석은 NIOSH의 공정시험법에 따라 분석하였다. 능동포집법으로 공기중 니코틴을 채취한 경우 Ethyl Acetate 1 ml로 탈착시켜 가스 크로마토그래피(Gas Chromatography, Model HP 5890 Hewlett Packard사, USA)에서 질소 인 검출기(Nitrogen Phosphorous Detecter)를 사용하여 분석하였다. 이 때 최소 7개 이상의 농도수준의 표준액을 만들어 검량선을 구하였으며 이에 따라 시료의 성분을 정량 분석하였다.

탈착 효율은 3가지 농도수준별로 각 2개 필터에 니코틴이 포함된 Heptane을 마이크로실린지로 스파이킹한 후 3시간 경과 후 분석하였다. 내부 표준물질(Internal Standard)로서 Quinoline을 사용하였다.

2) 확산포집기

니코틴이 포집된 필터를 15 ml 유리 튜브에 넣은 후 증류수 2 ml와 에탄올 100 ul를 넣고 약 1분간 흔들어서 필터에서 니코틴을 추출한 후 2 ml 10 N NaOH를 넣어서 1분간 흔든 뒤 다시 Heptane 2 ml을 넣어서 10분간 흔들어 주어서 니코틴이 Heptane으로 추출되어지게 하였다. 내부 표준물질로는 Quinoline을 사용하였다.[7,10] 분석은 능동포집기와 마찬가지로 GC NPD를 사용하여 분석하였으며 검량선은 최소 7개 이상의 농도수준에서 표준액을 만들어 구했으며 탈착 효율은 3개 농도수준에서 2개씩 만들어 구했다.

III. 결 과

1. 확산포집기의 성능에 관한 실험

1) 챔버실험을 통한 확산포집기의 포집율 계산

담배 연기를 발생시킨 뒤 1~2시간동안 확산포집기 세

Table 1. Sampling rate of diffusive sampler

	Uptake mass, μg (diffusive sampler)[a]	Uptake mass/air flow rate, μg/l/min (active sampler)[b]	Sampling rate, l/min[c]
1 set	0.047(±0.013)*	1.739(±0.124)	0.0269
2 set	0.122(±0.003)	3.166	0.0384
3 set	0.112	3.686(±0.079)	0.0303
4 set	0.166(±0.010)	4.31	0.0384
5 set	0.676(±0.001)	13.518(±2.208)	0.0500
6 set	0.840(±0.006)	16.29	0.0515
7 set	0.655(0.062)	16.526(±0.390)	0.0396
8 set	1.907(0.160)	39.105(±0.189)	0.0488
		Mean of sampling rate	0.0405

[a] n=2~6

[b] n=1~2

[c] $\frac{Uptake\ mass(diffusive\ sampler)}{Uptake\ mass(active\ sampler)} Flow\ rate(active\ sampler)$

*Standard deviation

트(n=2~6)와 능동포집기 세트(n=1~2)를 노출시켜 포집된 니코틴의 양을 분석하였다. 각 확산포집기 세트의 니코틴 양의 평균값을 Y 값으로 두고 능동포집기에서의 니코틴 양을 펌프 유량으로 나누어 준 값을 X 값으로 해서 Y/X로 포집율을 계산하였다(Table 1).

2) 실제 포집율과 이론적 포집율과의 비교

Fick의 확산 제 1법칙에 의하면 물질의 확산은 대기와 흡착제 사이의 농도 경사에 의해 이루어지고 이 때 포집기의 일정한 규격(geometry)에 의해 흡착은 일정한 속도를 가지고 이루어진다. 전체적인 포집량은 노출시간과 대기중의 농도에 비례하게 된다.

$$Fick's\ First\ Law: M = -\frac{DA}{L}Ct \quad (1)$$

$$Sampling\ rate\ ml/sec = \frac{M}{Ct} = \frac{DA}{L} \quad (2)$$

D: Diffusion coefficient(cm^2/s)
L: Length of diffusion path(cm)
A: Cross sectional area of diffusion area(cm^2)
C: Concentration($\mu g/m^3$)
t: Time(sec)
M: Mass uptake(μg)

식 (2)에서 포집율(sampling rate)로 표현되는 DA/L는 대상물질의 확산계수와 포집기의 규격(geometry)에 의해 결정될 수 있다. 따라서 DA/L와 포집 시간, 흡착된 물질량을 이용하면 대상 물질의 공기중 농도를 구할 수 있다. 본 계산에서는 기존에 확산포집기에서 사용된 the Fuller, Schettler, Giddings(FSG) 방정식을 이용한 확산 계수(D, diffusion coefficient)를 사용하였다.[7] 확산포집기의 이론적인 포집율은 확산포집기의 규격(geometry)로부터 구해서 다음과 같이 나왔다.

포집율 $= 8.11(A)/0.9(L) \times 0.062(D) = 0.5587\ cm^2/sec$
$= 33.52\ ml/min$

이론적으로 계산된 포집율을 실험을 통해 나온 값을

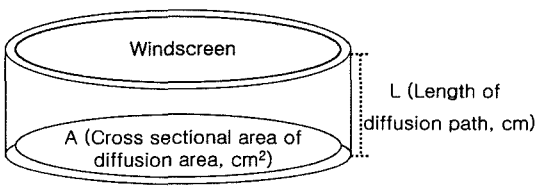

Fig. 3. Design of diffusion area and length of diffusion path.

Table 2. Comparison between theoretical sampling rate and experimental sampling rate

Diffusion coefficient (cm^2/sec)	Sampling rate (ml/min)		T/E
	Theoretical (T)	Experimental (E)	
0.062	33.52	40.505	0.8276

평균한 결과 40.50 ml/min와 비교해 보았을 때, 이론 포집율이 실험 포집율 보다 0.8276배 적게 나왔다 (Table 2).

3) 분석 회수율

분석 회수율은 시료의 전처리 및 분석기기의 반응에 의한 오차를 보정하기 위한 수단이다. NIOSH에서는 흡착제의 경우 세 개 이상의 농도수준에 대해 최소 75% 이상의 분석 회수율을 나타내는 것을 사용하도록 권고하고 있다. 전체 회수율 평균은 113.6%가 나왔고 pooled C.V 값은 14.44%가 나왔다(Table 3).

(4) 포집율의 일정성과 포괄적인 정확도

미국 산업안전보건연구원(NIOSH)에서는 분석과 포집에서의 평균 변이계수(pooled coefficient of variation, $C.V._{Tpooled}$)가 10.5% 이하일 때 기준방법과의 차이가 95% 신뢰구간에서 ±25% 이내에 들어야 한다고 규정하고 있다.[9]

Fig. 1의 챔버에서는 니코틴이 담배의 자연 연소를 통해 발생되기 때문에, 노출 챔버내 니코틴 농도를 정확하게 조절하기 어려웠고, '하' 등(2001)[10]은 흡연으로 인한 공기중 니코틴 농도는 대부분 ACHIH TLV®[11]의 훨씬 미치지 못한다고 보고하였다, 따라서 임의로 결정된 0.65×TLV, 0.28×TLV, 0.07×TLV의 3가지 농도 수준별 조건에서 각 6개의 확산포집기를 이용해 구한 농도와 1~2개의 능동포집기를 통해 구한 기지 농도를

Table 3. Desortion by $NaHSO_4$ coated glassfiber filter

Concenration level	Taken (μg)	Found (μg)	Desorption	C.V. (%)
0.006 × TLV	0.050	0.072 (±0.018)*	1.421	24.57
0.03 × TLV	0.252	0.257 (±0.011)	1.019	4.22
0.09 × TLV	0.757	0.734 (±0.015)	0.969	2.07
		Mean desorption	1.14	
		$C.V._{1pooled}$[a]	14.44	

n=4 in each concentration level.

[a] $C.V._{1pooled} = \sqrt{\frac{f_1 C.V._1^2 + f_2 C.V._2^2 + f_3 C.V._3^2}{f_1 + f_2 + f_3}}$ (Analyical C.V.)

f_i=degree of freedom in each concentration
*Standard deviation.

가지고 정확도를 구하였다.

Table 3의 $C.V._{\cdot 1pooled}$를 사용한 계산결과 포집과 분석의 $C.V._{\cdot Tpooled}$ 11.83%가 나와 10.5%을 넘었고 포괄적인 정확도는 27.99%가 나와 25%를 넘었다.

그러나 0.006×TLV 수준에서의 C.V.를 제외하고 계산한 $C.V._{\cdot 1pooled}$ 값을 사용한 결과 포집과 분석의 $C.V._{\cdot Tpooled}$ 7.31%가 나와 10.5%보다 낮아졌고 포괄적인 정확도는 18.96%로 25%내에 들어가는 것으로 계산되었다(Table 4, 5).

Table 4. Desortion by $NaHSO_4$ coated glassfiber filter

Concenration level	Taken (μg)	Found (μg)	Desorption	C.V. (%)
0.03 × TLV	0.252	0.257 (±0.011)	1.019	4.22
0.09 × TLV	0.757	0.734 (±0.015)	0.969	2.07
		Mean desorption	0.99	
		$C.V._{\cdot 1pooled}$[a]	3.33	

n=4 in each concentration level.

[a] $C.V._{\cdot 1pooled} = \sqrt{\frac{f_1 C.V._{\cdot 1}^2 + f_2 C.V._{\cdot 2}^2}{f_1 + f_2}}$ (Analyical C.V.)

f_i=degree of freedom in each concentration

*Standard deviation.

2. 확산포집기의 현장 적용에 대한 평가 실험

1) 조사대상 및 시료채취 장소

조사대상 장소는 3곳의 사업장에서 흡연 구역 5곳 및 흡연실 7곳을 대상으로 하여 총 12곳에서 24개 샘플을 채취하였다(Table 6).

2) 두 측정방법간의 공기중 농도분포

Fig. 4는 니코틴의 샘플링 장소 전체에서의 두 측정방법의 공기중 농도를 대수 누적 분포표로 나타낸 것이다. 두 방법 다 대수정규분포를 하였다.

Table 6. Number of samples by site

Site	Smoking room	Smoking area	Number of samples
A	2		5
B	5		11
C		5	8
Sum	7	5	24

Table 5. Accuracy and precision of results analyzed by diffusive sampler

Concentration, μg/m³ (Diffusive sampler), n=6		TWA Concentration, μg/m³ (Active sampler), n=1~2		Bias[b]
Mean $C.V._{\cdot 1}$(%)[a]	34.063 (±2.132)* 6.260	0.07 × TLV	35.904	−0.05127
Mean $C.V._{\cdot 2}$(%)[a]	134.697 (±12.198) 9.501	0.28 × TLV	137.718 (±3.248)	−0.02193
Mean $C.V._{\cdot 3}$(%)[a]	392.098 (±32.936) 8.400	0.65 × TLV	325.876 (±1.571)	0.203213
$C.V._{\cdot 2pooled}$[d]	8.165		|Bias|	0.04334
$C.V._{\cdot Tpooled}$[e]	7.31	Overall accuracy(%)[c]		18.96

[a] $\frac{Standard\ deviation\ of\ concentrations}{Mean\ of\ concentrations}$

[b] $\frac{Mean\ concentration\ (diffusive\ sampler) - Mean\ concentration\ (active\ sampler)}{Mean\ of\ concentrations\ (active\ sampler)}$

[c] Overall accuracy (5) $= 2 \times C.V._{\cdot T}(\%) + |Bias| \times 100$

[d] $C.V._{\cdot 2pooled} = \sqrt{\frac{f_1 C.V._{\cdot 1}^2 + f_2 C.V._{\cdot 2}^2 + f_3 C.V._{\cdot 3}^2}{f_1 + f_2 + f_3}}$ (Sampling C.V.)

f_i=degree of freedom

[e] $C.V._{\cdot T} = \sqrt{1.1667 (C.V._{\cdot 1pooled}^*)^2}$

$C.V._{\cdot 1pooled}^* = \sqrt{\frac{f_1 C.V._{\cdot 1pooled}^2 + f_2 C.V._{\cdot 2pooled}^2}{f_1 + f_2}}$

*Standard deviation.

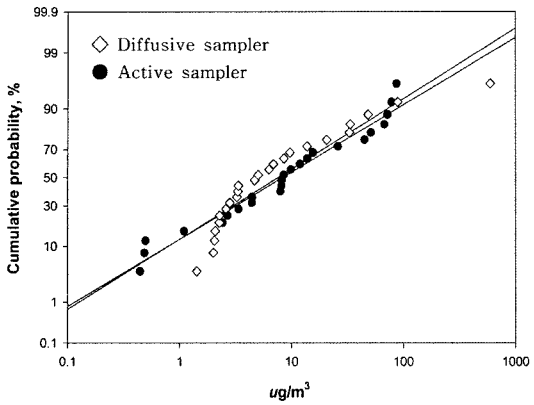

Fig. 4. Distribution of nicotine in smoking area and room by active sampler and diffusive sampler.

3) 전체 농도 범위에서 두 측정 방법에 따른 농도 비교

전체 농도 범위에서 능동포집기에 의한 농도는 기하평균과 기하표준편차가 각각 8.29 μg/m^3, 5.09이었고 확산포집기에 의한 농도는 기하평균과 기하표준편차가 각각 7.54 μg/m^3, 4.36이었다.

두가지 측정 방법을 대상으로 paired t-test를 한 결과 t 통계량이 -0.6935로 두 측정방법의 평균은 유의한 차이가 없었다(p=0.49>0.05).

Fig. 5에서는 전체 농도 범위에서 두 측정방법에 대한 전체농도에서의 결정계수를 나타내었다. 기울기는 예외값을 제거 안했을 경우 기울기가 2.1136으로 이론적 기울기 1과 큰 차이를 나타냈으며 결정계수가 0.2397로 능동포집기와 확산포집기 사이에 낮은 상관관계를 보여주었다.

이에 Fig. 5에서 95% 신뢰구간을 벗어난 예외값 3

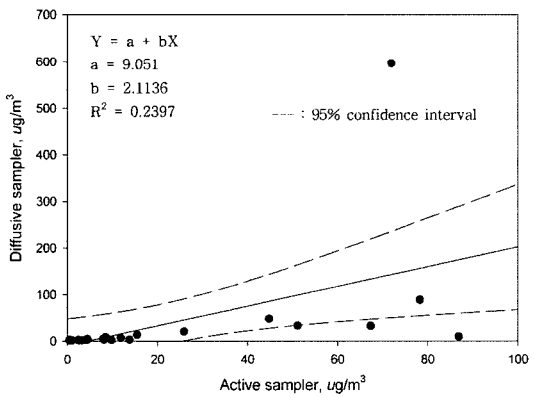

Fig. 5. Relationship between active sampler and diffusive sampler over whole concentration level.

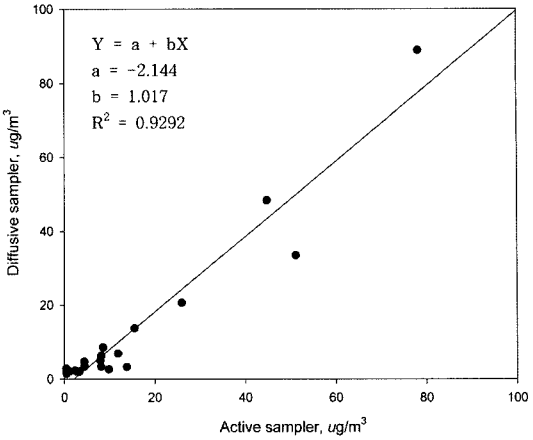

Fig. 6. Relationship between active sampler and diffusive sampler over whole concentration level without 3 outliers.

개를 제거하여 능동포집기와 확산포집기의 차이를 검증한 결과 Bias가 0.3474로 나와 챔버실험에서의 0.04334보다 높게 나왔으나 회귀분석결과는 Fig. 6에서는 보는 것처럼 결정계수가 0.9292로 높아졌고 기울기가 1.017로 줄어들어 이론적인 기울기인 1에 거의 근접한 값을 보여주었다.

능동포집기에 의한 농도는 기하평균이 각각 6.05 μg/m^3, 4.43이었고 확산포집기에 의한 농도가 각각 5.64 μg/m^3, 3.18이었다. paired t-test를 한 결과 t 통계량이 -1.54로 두 측정방법의 평균은 유의한 차이가 없었다(p=0.14>0.05).

IV. 고찰 및 결론

노출 챔버를 이용하여 확산포집기의 니코틴 포집율을 실험적으로 구한 결과 40.5 ml/min이 나왔다. 이론적 포집율인 33.52 ml/min과 비교할 때 이론적 포집율이 실험적 포집율에 비해 0.828배 적게 나왔다.

하지만 앞서 구한 실험적 포집율은 각 농도 범위에서의 포집율을 평균한 값이었고 개별적으로는 공기중 니코틴 농도가 높아짐에 따라 포집율이 높아지는 경향성을 보여주었다. 따라서 니코틴의 공기 중 농도가 포집율에 영향을 미친 것으로 생각된다.

'산업안전보건연구원' 등(2000)[12]에 따르면 확산포집기에서 포집율은 공기중 포집 대상 물질의 농도의 함수로서 나타내어질 수 있다고 보고하고 있다(식 6). 결국 보다 정확한 포집율을 구하기 위해서는 여러 가지 농도 조건에서의 노출 실험을 통해 식 (6)에서의 상수

a와 n 값을 구하고 이 식을 토대로 농도조건이 틀려질 때마다 포집율을 달리 적용시키는 것이 필요하다고 생각된다.

$$M = bC^{1/m} \text{ (Freundlich isotherm)} \quad (3)$$

M: μg/diffusive sampler (nicotine)
C: Concentration in air (nicotine)
b, m: constant

$$\frac{M}{t} = \frac{C \times Air\ volume}{t} = \frac{bC^{1/m}}{t} \quad (4)$$

t: sampling time

$$\frac{Air\ volume}{t} = \frac{bC^{1/m}}{tC} \quad (5)$$

$$\frac{Air\ volume}{t} = Sampling\ rate = a \times C^{n} \quad (6)$$

$$a = \frac{b}{t}, n = \frac{1-m}{m}$$

저농도(0.07×TLV~0.76×TLV 수준 농도)에서 분석과 측정에서의 pooled C.V. 값은 7.31%가 나와 10.5% 내에 들었고 포괄적인 정확도는 18.96%로 25%안에 들어 NIOSH의 기준을 만족시키는 것으로 나왔다.

그러나 흡착을 해주는 필터에 있어서 저농도(0.05 μg Spiking)에서의 회수율이 너무 큰 C.V.(24.57%)를 보여주었고 챔버실험시 공기중 니코틴 농도 0.65 μg/m^{3}에서의 Bias 값(20.32%)이 타 농도수준에 비해서 매우 높았다.

이러한 Bias 값의 차이에 대해서는 앞서 이론적 고찰에서 말한 것처럼 식 (6)에서의 상수 a, n을 결정하고 이를 이용해 능동포집기로 구한 공기중 니코틴 농도에 따라 확산포집기에 포집율을 다르게 적용하면 해결될 것으로 생각된다.

일반 사무환경에서의 흡연구역과 흡연실을 대상으로 능동포집기로 니코틴 농도를 측정한 결과 기하평균과 기하표준편차가 각각 8.29 μg/m^3, 5.09로 나왔으며 확산포집기로는 각각 7.54 μg/m^3, 4.36이 나왔다. paired t-test 결과 t 값이 −0.6935로(p=0.49) 두 측정치의 평균에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만 회귀분석을 실시한 결과 결정계수가 0.2397로 두 측정치 사이의 상관성을 보여주지는 못했다.

그러나 95% 신뢰구간에서 벗어나는 예외값들을 제거한 후 능동포집기와 확산포집기에 의한 농도를 비교해 보면 기하평균이 각각 6.05 μg/m^3, 5.64 μg/m^{3}이었고 paired t-test를 한 결과 t 통계량이 −1.54로 두 측정방법의 평균은 유의한 차이가 없었으며(p=0.14>0.05), 결정계수가 0.9292로 높아졌고 기울기가 1.017로 줄어들어 이론적인 기울기인 1에 거의 근접한 값을 보여 주는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 농도수준에 따른 포집율의 변화양상을 구명하고 저/고농도에서의 Bias를 제어할 수 있다면 능동포집기의 대안으로 사용할 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

참고문헌

1. National Academy of Sciences, National Academy of Sciences Report : Environmental Tobacco Smoke, Measuring Exposure and Assessing Health Effect : GPO : Washington, DC, 1986.
2. U.S Department of Health and Human Services, The Health Consequences of Involuntary Smoking : A Report of the Surgeon General, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1986.
3. 황규석, 백남원, 하권철 : 서울시내 PC방에서의 환경성담배연기(ETS) 농도에 관한 연구. 한국환경위생학회지 **29**(3), 46-47, 2003.
4. 고영림, 양원호, 정문호 : 서울시 일부 음식점 종업원의 간접흡연 노출량 측정. 한국환경위생학회지 **28**(2), 179-180, 2002.
5. 하권철 : 실내사무환경에서의 환경성담배연기(ETS) 중 일부 휘발성유기화합물(VOC)에 관한 연구. 한국 환경위생학회지 **27**(3), 95-97, 2001.
6. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) : NIOSH Manual of Analytical Method, 4th ed., 1994.
7. Michael W. Ogden, Katherine C. Malolo : Comparative evaluation of diffusive and active sampling system for determining airborne nicotine and 3-ethenylpyridine. *Environmental Science and Technology*, **26**(6), 1226-1234, 1992.
8. S. Katharine Hammond, Brian P. Leaderer : A diffusion monitor to measure exposure to passive smoking. *Environmental Science and Technology*, **21**(5), 494-497, 1987.
9. David G. Taylor, Richard E. Kupel, and John M. Bryant : Documentation of the NIOSH Validation Tests. DHHS(NIOSH) : 1-12, 1997.
10. 하권철 : 실내환경의 환경성담배연기(ETS)중 일부 발암물질 노출지표에 관한 연구. 서울대학교 보건대학원 박사논문, 1996.
11. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH) : Threshhold Limit Value for Chemical substances and physical agents and biological exposure indices, 2001.
12. 산업안전공단 산업안전보건연구원 : 저농도 광역화 오염물질 포집형 확신식 채취기의 개발에 관한 연구, 2000.