

# 실내사무환경의 환경성담배연기(ETS)의 지표물질에 관한 연구

하권철<sup>‡</sup> · 백남원<sup>1)</sup> · 박동욱<sup>2)</sup> · 윤충식<sup>3)</sup> · 김원<sup>4)</sup> · 최상준<sup>1)</sup> · 박지영<sup>1)</sup> · 최인자<sup>4)</sup> · 김신범<sup>4)</sup> · 강태선<sup>4)</sup>

창원대학교 보건·생화학과 · 서울대학교 보건대학원<sup>1)</sup> · 한국방송대학교 보건과학과<sup>2)</sup> ·  
대구가톨릭대학교 산업보건학과<sup>3)</sup> · 원진노동건강연구소<sup>4)</sup>

## A Study on Indicators for Environmental Tobacco Smoke at Indoor Office Environments

Kwon-Chul Ha<sup>‡</sup> · Nam-Won Paik<sup>1)</sup> · Dong-Uk Park<sup>2)</sup> · Chung-Sik Yoon<sup>3)</sup> · Won-Kim<sup>4)</sup> · Sang-Jun Choi<sup>4)</sup> · Ji-Young Park<sup>4)</sup>  
In-Ja Choi<sup>4)</sup> · Shin-Bum Kim<sup>4)</sup> · Tae-Sun Kang<sup>4)</sup>

Department of Health Science & Biochemistry, Changwon National University School of Public Health, Seoul National University<sup>1)</sup>

Department of Environmental Health, Korea National Open University<sup>2)</sup>

Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu<sup>3)</sup>

Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health<sup>4)</sup>

The purpose of this research is to evaluate indoor office environment using the concentrations of nicotine, 3-ethenylpyridine(3-EP), and respirable suspended particulate(RSP), which are indicators for environmental tobacco smoke(ETS) and the correlations between indicators and environmental conditions(smoking density, smoking index). The mean air change per hour(ACH) in smoking rooms was 10.4 and most of the smoking rooms showed non-compliance with ASHRAE standard value except only one smoking room. The concentrations of RSP, 3-EP, nicotine showed log-normal distributions, and became different statistically depending on smoking condition( $p < 0.01$ ). The geometric mean concentration of RSP in smoking room was  $441.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  that is far

exceeded environmental standard( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). This implies that fine particulate in smoking room should be carefully controlled considering smoking density and ventilation rate. The mean concentrations of nicotine and 3-EP were  $93.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. The correlation coefficients between RSP and SI, 3-EP and SI, and Nicotine and SI were 0.67, 0.84 and 0.74, respectively. The correlation coefficient between nicotine and 3-EP, nicotine and RSP, and RSP and 3-EP were 0.76, 0.78 and 0.57 respectively.

**Key Words:** Environmental Tobacco Smoke(ETS), Nicotine, Respirable Suspended Particulate(RSP), 3-Ethenylpyridine(3-EP), Smoking Index(SI)

## I. 서 론

사람들이 실내에서 보내는 시간이 증가함에 따라 실내공기질(indoor air quality,

IAQ)의 공중보건학적 중요성이 강조되고 있다. 실내공기 오염으로 인하여 나타나는 건강상의 영향은 두통, 눈·코·목 호흡기의 점막 자극, 기침, 집중력 약화,

피로 등 갑작스럽게 불쾌한 반응을 보이고, 특별한 질병으로 판단하기 어렵고, 원인도 확인할 수 없는 SBS(sick building syndrome)와 건물 실내환경에 존재하는 건강 유해인자가 원인이 되어 레지오넬라증, 파진성질환, 기침, 오한, 근육통 등 진단 가능한 질환인 BRI(building-related illness)이다(EPA, 2001). 실내공기질을 결정하는 중요한 오염원 중 하나가 발암물

\* 이 논문은 2002년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

접수일 : 2003년 7월 21일, 채택일 : 2003년 8월 12일

‡ 교신저자 : 하권철(경남 창원시 사림동 9번지, 창원대학교 자연과학대학 보건·생화학과

Tel : 055-279-7663, E-mail : kcha@changwon.ac.kr)

질로 확인된 환경성담배연기(environmental tobacco smoke, ETS)이다. ETS는 간접 흡연을 야기하여 흡연자뿐만 아니라 어린이를 포함한 비흡연자의 건강에도 악영향을 미친다는 연구 결과가 보고되면서 이에 대한 사회적인 관심이 계속 증가하고 있다(EPA, 2001; 백도명 등, 2000).

미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA, 2001)에서는 ETS를 켄터, 담배, 파이프 담배, 시가의 끝 부분이 탈 때 방출되어지는 연기와 흡연자의 폐에서 배출되는 연기의 혼합물이라고 정의하고 있다. ETS는 간접연기라고도 불리며, ETS에 노출되는 것을 비자발적 흡연, 간접 흡연, 수동 흡연이라고 한다(Jaakkola 등, 1997). 흡연자가 담배를 피울 때 발생하는 담배연기는 흡연자가 직접 들어 마시는 주류연과 담배를 피우는 사이에 타고있는 앞부분에서 방출되는 부류연으로 구분할 수 있으며, ETS는 85~90%의 부류연과 10~15%의 호기된 주류연으로 구성된다. 이를 구성하고 있는 성분은 그 물리화학적 특성에 의해 주류연 대비 부류연의 비가 다르게 나타나며 대부분 유해물질의 경우 부류연에서의 농도가 주류연에서의 농도보다 높게 나타난다.

ETS의 건강상의 영향을 파악하기 위해서는 용량-반응 관계에 의해 그 공기중 농도를 파악하여야 한다. 그러나 공기중 ETS는 입자상 및 가스상으로 구성된 복잡한 화학물질이며 물리화학적 제거 기작, 분해, 반응 경과 시간, 담배연기의 여과정도, 타르농도, 공간의 크기, 환기량, 노출시간, 흡연량, 발생원에서의 거리 등에 따라 변화하는 속성이 있어 정량 평가가 매우 어렵다. 정확한 노출량 평가를 위해서 ETS에 대한 지표물질이 개발되어 왔다. 이상적인 지표물질은 ETS에 특이적이어야 하며, 다른 ETS 성분과 일정한 상관성이 있어야 한다(National Academy of Science, 1986).

많은 연구 결과 니코틴, 3-ethenylpyridine(3-EP), 호흡성먼지(respirable suspended particulate, RSP) 등이 좋은 지표물질로 추천되고 있다. 니코틴은 증기상을 대표하는 특이적인 물질로 호흡성먼지, 흡

연밀도 등과도 좋은 상관성을 보이는 것으로 보고되고 있다. 3-EP는 니코틴의 연소물질로서 안정성 및 특이성이 좋은 것으로 알려져 있다. 호흡성먼지는 ETS에 대한 연구가 시작되면서 지표로서 계속 사용된 물질이지만 특이성이 낮은 것이 단점으로 지적되고 있다. 그러나 실내 환경관리 기준 항목으로 호흡성먼지를 제시하고 있어 기준 초과 여부를 평가할 수 있다(National Academy of Science, 1986). 이들 물질 외에 자외선을 흡수하는 입자상 물질인 UV-PM, 일차 티페노이드 알콜로 ETS에 대해 민감하고 특이적인 solanesol 등이 지표물질로 사용되고 있다.

간접흡연에 관한 실태 조사 결과 전체 남성이 직장에서 54%, 가정에서 36% 정도가, 남녀 모두 50% 이상이 ETS에 노출되고 있다(백도명 등, 2000). 실내사무환경에서 근무하는 근로자의 경우 직장에서 보내는 시간이 하루 중 10시간 22분으로 상당히 많은 시간이며, 성인 남성의 흡연률이 매우 높은 관계로 여성근로자를 포함한 비흡연자가 직업적으로 간접흡연이 되고 있어 위험성평가의 필요성이 대두되고 있다(하권철, 2001).

본 연구에서는 실내 사무환경을 흡연환경에 따라 4가지로 나누어 ETS의 지표물질을 측정하여 사무직 근로자의 ETS 노출량 추정의 기초자료를 제시하고, 국민건강증진법에 따라 대부분의 실내사무환경에 마련된 흡연실 등에 대한 평가를 통해 간접흡연의 가능성을 확인하고, 흡연실에 대한 기준 설정시 필요한 조건을 제시하고, 지표물질들간, 흡연밀도, 환기량 등 환경요인과 지표물질과의 상관성 분석을 통해 가장 적절한 지표물질을 제안하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 대상

2000년 4월부터 2001년 4월까지 서울, 평택, 구미, 창원의 사무직(서비스업) 근로자들이 근무하는 실내 사무환경에 대해

흡연과 관련하여 흡연실 7 개소, 흡연실과 인접한 복도 7 개소, 흡연허용사무실 3 개소, 비흡연사무실 5 개소를 대상으로 흡연을 통하여 발생하는 ETS의 수준을 파악하기 위하여 지표물질인 니코틴 40 개, 3-EP 40개, 호흡성먼지 37개의 시료를 채취 분석하였다.

ETS의 농도를 결정하는 환경 요소인 공간 체적, 시간당 공기교환횟수(air change per hour, ACH)로 표시되는 환기량, ETS 발생량과 제거량을 알 수 있는 흡연지수(smoking index, SI) 등의 변화에 따른 지표물질 농도 분포 변화를 파악하고 그 상관성을 분석하여 지표로서의 적합성을 규명하였다.

### 2. 방 법

#### 1) 공기 중 지표물질 시료의 채취 및 분석 (1) 니코틴과 3-EP

니코틴의 채취는 미국 NIOSH의 공정시험법 2551에 따라 XAD-4 흡착관(80/40 mg)을 개인시료채취기(high volume air sampler, Gilian, USA)에 연결하여 1 l/min의 유량으로 5시간 정도 지역시료로 채취하였다. 개인시료채취기는 측정전후에 유량보정계(Gilian, USA)를 이용하여 유량을 보정하였다. 채취된 시료는 빛에 노출되지 않게 냉장 보관하였다. 흡착관의 전후 층을 구별하여 각각 바이알에 넣고 각 바이알에 1ml의 탈착액을 넣었다. 탈착효율은 3단계 농도수준에서 각각 3개씩 XAD-4 흡착관에 주입시킨 후 하루동안 어두운 곳에 보관한 뒤 현장시료와 같이 처리하여 분석, 계산하여 시료에 적용하였다. 니코틴의 탈착용매로는 triethylamine을 포함한 ethyl acetate를 이용하였으며 내부 표준 물질로써 quinoline을 사용하였다(NIOSH, 1994). 니코틴의 분석은 질소인 검출기(NPD)가 장착된 가스크로마토그래피를 이용하였다.

3-EP의 채취는 니코틴과 동일한 방법으로 동시에 동일 흡착관에 채취하였다. 3-EP의 분석은 Bertoni 등의 실험방법을 참조하여 분석하였다. 분석방법은 니코틴과 동일하다(Piade 등, 1999). 니코틴과

3-EP의 분석조건은 표 1과 같다. 시료채취물질인 니코틴, 3-EP의 최소검출한계(LOD) 값은 각각 0.372, 0.218  $\mu\text{g/sample}$ 이었다.

(2) 공기 중 호흡성 먼지의 측정 및 분석  
호흡성먼지의 정의는 NIOSH에서 정의하고 있는 'Aerosol Collected by Sampler with 4- $\mu\text{m}$  Median Cut Point'를 따랐다. 호흡성먼지의 채취는 데시케이터에 하루이상 컨디셔닝 시킨 0.45 $\mu\text{m}$  공극의 PTFE (polytetrafluorethylene)여과지를 2단 카세트에 넣어 조립한 뒤 10mm-Nylon Cyclone에 장착하여 1.7  $\ell/\text{min}$ 의 유량으로 5시간 정도 지역시료로 채취하였다. 시료채취기(High Volume Air Sampler, Gilian, USA)는 측정전후에 유량보정계(Gilian, USA)를 이용하여 보정하였다. 채취를 한 카세트를 데시케이터에 넣고 하루 이상 컨디셔닝 시키고 여과지의 무게를 재고 채취 후의 여과지 무게에서 채취전의 무게를 빼서 이를 통과시킨 공기의 양으로 나누어 농도를 계산하였으며 1회 측정 시 3개 이상의 공시료를 이용하여 보정하였다(NIOSH, 1994). 호흡성먼지의 최소검출한계 값은 각각 19.6  $\mu\text{g/sample}$ 이었다.

## 2) 환경영향 인자 평가

### (1) 공기교환횟수(ACH)

시간당 공기교환 횟수는 일정시점에서 이산화탄소 농도를 측정하고 일정 시간 후에 다시 농도를 측정하여 경과된 시간 동안 감소된 이산화탄소 농도를 시간으로

나누어 구하는 이산화탄소 농도 감소법으로 측정하였다. 이산화탄소 농도 감소법은 미국 TSI사의 Q-Check CO<sub>2</sub> Meter (Model 8731)를 사용하여 흡연실 등을 대상으로 사람들이 모두 빠져나간 후에 압축된 이산화탄소 가스를 이용하여 실내의 이산화탄소 농도를 1700 ppm 정도로 올린 다음에 이것이 일정한 농도로 떨어지는 시간을 측정하여 식 (1)을 이용하여 환기량을 시간당 공기교환횟수로 평가했다(Olcerst, 1994).

$$ACH = \frac{\ln(C_{initial} - C_{out}) - \ln(C_{end} - C_{out})}{Time(hr)} \quad \dots\dots\dots \text{식 (1)}$$

$C_{initial}$  = Concentration at Start of Test  
 $C_{out}$  = Outdoor Concentration, 330 ppm  
 $C_{end}$  = Concentration at End of Test

### (2) 흡연밀도(Smoking Density, SD)

위의 ETS 지표물질들을 측정 분석하였을 때 측정된 농도의 어느 정도가 흡연률에 의하여 설명 가능한 지를 제시하기 위하여 흡연률의 간접적인 지표인 흡연밀도를 계산하여 측정 물질과의 상관성을 분석하였다. 흡연밀도는 채취 시간당 흡연된 담배 수를 실내의 면적으로 나누어 계산하며 흡연한 담배의 수는 시료의 채취 시간동안 흡연실에서 피워진 담배꽂초를 모아서 계수하였다(Turnner, 1992).

$$SD(cig/\text{m}^2 \cdot hr) = \frac{No. of Smoked Cigarettes(cig)}{Area(\text{m}^2) \times Sampling Time(hr)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

### (3) 흡연지수(smoking index, SI)

흡연지수는 환기율과 흡연량을 동시에 고려하는 지수로 흡연밀도(SD)를 환기량(ACH)으로 나누어 계산하였다(Rando, 1992).

## 3) 자료의 통계 분석

지표물질간, 지표물질과 흡연지수간 상관성 검토, 시료채취장소(비흡연사무실, 흡연사무실, 흡연실인접지역, 흡연실)별 농도 차이를 규명하기 위해 회귀분석과 ANOVA를 실시하였다. ETS의 성분들은 대체적으로 대수정규분포를 하고 있기 때문에 대표값으로 기하평균(Geometric Mean, GM)과 기하표준편차(Geometric Standard Deviation, GSD) 등을 통계치로 제시하였다. 이 때 LOD 값은 공시료 기하표준편차의 3배로 계산하였으며, LOD 미만으로 나온 측정값들에 대해서는 검출한계의 1/2값으로 분류하여 통계처리에 이용하였다.

자료는 Sigma Plot(Version 4.0, Jandel Corp., USA), Sigma Stat.(Version 4.0, Jandel Corp., USA), Excel(version 7.0, MS)을 이용하여 분석하였다.

## III. 결 과

### 1. 실내사무환경 조사 결과

실내사무환경을 흡연 환경에 따라 흡연

Table 1. The conditions of nicotine and 3-EP analysis

Variable	Conditions
GC	Hewlett Packard 5890A. U.S.A
Detector	Nitrogen-Phosphorus Specific Detector
Injector	Capillary Split Mode
Column	25m $\times$ 0.32mm ID 0.25 $\mu\text{m}$ Film Thickness HP 5, Hewlett Packard. U.S.A
Carrier Gas	He
Flow Rate	1.5 $\text{m}\ell/\text{min}$
Split Ratio	5 : 1
Injector Volume	1 $\mu\ell$
Injector Temp.	200 $^{\circ}\text{C}$
Detector Temp.	300 $^{\circ}\text{C}$
Temp. Program	160 $^{\circ}\text{C}$ Iso-Thermal Mode

실, 흡연실인접지역, 흡연허용사무실, 비흡연사무실 등으로 나누어 조사하였으며, 시료채취 장소인 흡연실 및 흡연허용사무실에 대한 특성과 흡연밀도, ACH를 조사하여 그 결과를 표 2에 나타내었다.

ACH의 경우 흡연실에서 평균 10.4로 흡연허용 사무실의 5.3보다 높게 나타났다. 흡연실의 경우 일반사무실인 흡연허용사무실보다 환기량을 증가시키기 위해서 일반 송풍기를 설치하거나 HVAC(heating, ventilating, and air conditioning) 시스템의 환기구를 더 많이 설치하여 환기량을 높이고 있었다. ACH가 가장 높았던 곳은 "A" 흡연실로 18.6이었고, 가장 낮게 나타난 곳은 "I" 흡연실로 5.0이 관측되었으며 측정 장소별로 유의한 차이를 보였다 ( $P<0.01$ ). ACH에 대해 미국 ASHRAE (1989)가 흡연장소의 환기 기준으로 제안하고 있는 15~20 회/시간에 대해 "A" 흡연실을 제외한 나머지 6 개소는 기준에 미치지 못하고 있었다. 흡연허용사무실의 경우에도 평균 5.3 ACH로 흡연지역에 필요한 환기량에 미치지 못하고 있었다.

흡연실에서 나타나는 흡연밀도의 범위는 0.3~4.0으로 나타났으며 평균 2.1cig/m<sup>2</sup>·hr였다. 대부분 사무실의 경우 흡연실을 마련하여 흡연을 할 때 ETS에 노출되는 것을 최소화하였으나 "H"와 "I" 흡연실처럼 창원지역의 경우 흡연구역을 따로 지정하지 않고 사무실에서 흡연하고 있었다(5개 사업장 중 1개 사업장에 해당). 흡연실과 흡연허용사무실에서 통계적으로 유의한 흡연밀도의 차이를 보였다 ( $p<0.01$ ). 흡연밀도와 환기량을 동시에 고

려한 흡연지수의 경우 흡연실에서 평균 0.23이었으며, 최소 0.05에서 최대 0.48이었다.

## 2. 지표물질의 농도분포

### 1) 니코틴의 농도 분포

ETS의 구성분 중 지표물질인 니코틴, 호흡성먼지, 3-EP 등에 대한 분석 결과를 실내사무환경의 흡연환경에 따라 표 3에 나타내었다.

지표물질 세 가지 모두 흡연실에서 가장 높게 나타났으며  $\alpha=0.01$  수준에서 흡연 환경 별로 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 니코틴의 경우 호흡성먼지나 3-EP의 농도 분포와는 달리 흡연허용사무실과 흡연실인접지역간 농도 차이가 명확하게 나타나 특이성이 높게 나타났다.

4가지 흡연 환경별 니코틴의 기하평균 값은 흡연실, 흡연허용사무실, 흡연실인접지역, 비흡연사무실 순으로 각각 93.4, 12.8, 3.0, 0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나 흡연 환경과 밀접한 연관성을 보였다. 흡연 환경별 니코틴의 농도분포를 알아보기 위하여 W-test(Shapiro & Wilk Test)를 실시하고 각 농도를 대수정규확률지에 각각의 변수들을 대입하여 그래프로 작성하여 확인한 결과 그림 1에서 보는 것처럼 대수정규분포를 하고 있었으며, 이에 따라 대표치로 기하평균과 기하표준편차를 제시하였다.

### 2) 호흡성먼지 농도 분포

호흡성먼지 농도는 대수정규분포를 하고 있었으며, 흡연 환경별로 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ). 흡연 환경별 기하평균 값의 크기는 표 3에서 보는

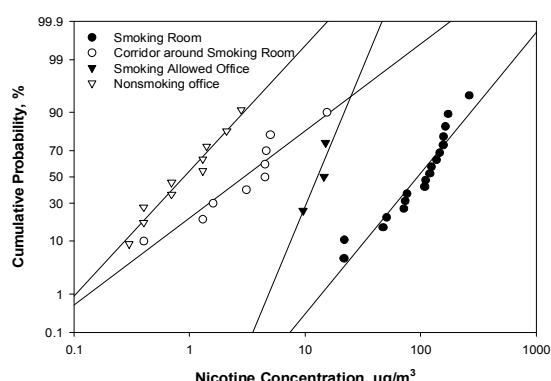


Fig. 1. The cumulative probability distribution of nicotine concentrations by smoking condition.

Table 2. The characteristics and description of sampling site

Sampling Site	Area (m²)	ACH (Air Change/ Hour)	Smoking Density (Cig. No. /m²·hr)	Smoking Index (SD/ACH)	Remarks	
Smoking Room	A	9.8	18.6	1.5-2.5	0.08-0.14	4 Fans, General Ventilation
	B	8.7	8.2	3.9-4.0	0.47-0.48	HVAC System
	C	8.2	8.2	3.6-3.7	0.44-0.45	HVAC System
	D	18.3	8.2	1.6	0.19	HVAC System
	E	5.9	12.8	2.1-2.8	0.16-0.22	2 Fans, General Ventilation
	F	15.4	10.7	1.3-1.4	0.13	1 Fans, General Ventilation
	G	18.1	5.9	0.3-0.6	0.05-0.12	HVAC System
Smoking Allowed Office	H	18.1	5.5	0.2	0.04	General Ventilation
	I	17.2	5.0	0.6	0.11	General Ventilation

Table 3. The descriptive statistics of airborne indicators concentration for ETS according to environmental condition related to smoking

Indicator	Environmental Condition	No. of Samples	Geometric Mean, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Range, $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Geometric Standard Deviation
				min.	max.	
RSP	Smoking Room	17	441.7	198.7	840.2	1.7
	Corridor Outside Smoking Room	9	43.4	< 23.7	103.2	2.3
	Smoking Allowed Office	2	70.7	67.1	74.6	1.1
	Non-smoking Office	9	35.1	< 23.7	130.6	2.6
Nicotine	Smoking Room	18	93.4	21.7	263.3	2.0
	Corridor Outside Smoking Room	9	3.0	0.8	15.4	2.8
	Smoking Allowed Office	3	12.8	9.6	15.0	1.3
	Non-smoking Office	10	0.9	< 0.8	2.8	2.1
3-EP	Smoking Room	18	8.8	0.8	49.8	4.6
	Corridor Outside Smoking Room	9	1.1	< 0.5	8.2	4.5
	Smoking Allowed Office	3	1.1	1.1	1.2	1.0
	Non-smoking Office	10	0.6	<0.4	7.0	4.1

※ Nicotine Standard :  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1/10 of ACGIH's TLV)

※ RSP Standard :

- National Ambient Air Quality Standard · PM10  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (annual arithmetic mean),  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24-hour average)
- PM2.5  $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ (annual arithmetic mean),  $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24-hour average)
- Korean Ministry of Environment · PM10  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ (annual arithmetic mean)
- Korean Ministry of Health and Welfare · TSP  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ (annual arithmetic mean)

것처럼 흡연실, 흡연허용사무실, 흡연실인 접지역, 비흡연사무실 순으로 분포하고 있었다. 흡연실에서 호흡성먼지의 농도 범위는  $199 \sim 840\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 기하평균은  $441.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다. 흡연실인접 지역에서는 농도범위가  $23.7 \sim 103.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 기하평균은  $43.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었으며, 흡연허용사무실의 경우는 범위가  $67.1 \sim 74.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 기하평균은  $70.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 값을 보였다. 비흡연사무실의 경

우는  $23.7 \sim 130.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도범위를 보였으며, 기하평균은  $35.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다. 흡연실의 호흡성먼지 농도분포는 우리나라 공중위생법(총먼지), 지하생활공기 질관리법(미세먼지 PM<sub>10</sub>), 미국 NAAQS (National Ambient Air Quality Standard, 3 months average)에서 정하고 있는  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 모두 상당히 높은 수준으로 초과하고 있었다. 특히 이들 기준은 총먼지나 미세먼지를 대상으로 하고 있어 본 연구의

대상인 호흡성먼지와 비교시 오히려 과소 평가 하는 경향이 있어 그 기준 초과 정도는 더 높을 것으로 예상된다(그림 2).

### 3) 3-EP의 농도 분포

흡연환경에 따른 3-EP의 농도분포는 대수정규분포를 하고 있었다. 흡연 환경별 3-EP의 기하평균 값은 흡연실, 흡연허용사무실, 복도, 비흡연사무실에서 각각 8.8, 1.11, 1.07,  $0.6\mu\text{g}/\text{m}^3$  순으로 분포하여 흡연허용사무실과 흡연실인접지역에서 비슷한 농도 분포를 보였다(표3).

## 3. ETS 지표물질의 적합성

### 1) 지표물질과 환경 인자와의 관계

ETS 농도는 환경 인자인 환기량(ACH)과는 반비례 관계이고 흡연밀도와는 비례 관계에 있다. 즉 흡연밀도가 높을수록 ETS의 농도는 높아질 것이고 시간당 공기교환 횟수가 작을수록 ETS의 농도는 높아질 것이다. Rando 등의 실험에 따르면 지표물질들과 흡연지수와 상관성은 담배연기가 증가함에 따라 직선형으로 증가하는 양의 상관성을 보였다(Rando 등, 1992). 지표물질이 환경요인과의 관계에

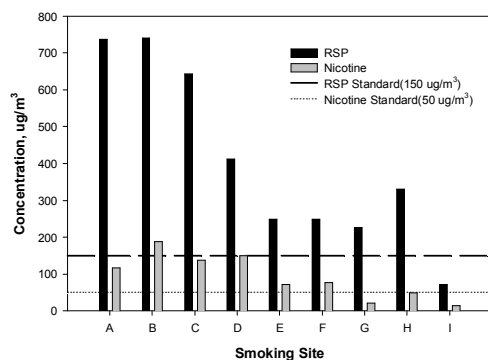


Fig. 2. The comparison of mean concentration of RSP and nicotine by smoking site.



서 이러한 설명력이 높으면 좋은 지표라고 할 수 있다.

흡연밀도와 환기량의 함수인 흡연지수(SI)와 지표물질과의 상관성을 파악한 결과는 그림 3과 같다. 호흡성먼지 0.67 ( $p < 0.01$ ), 3-EP 0.84( $p < 0.01$ ), 니코틴 0.74 ( $p < 0.01$ )의 상관계수 값을 보였다. 흡연지수와 좋은 상관성을 보인 지표물질은 3-EP였으며, 다음으로 니코틴, 호흡성먼지 순이었다.

## 2) 지표물질간 상관성

지표물질간 상관성을 분석하기 위하여 호흡성먼지, 3-EP, 니코틴을 대상으로 상관성을 분석한 결과는 표 4와 같았다. 지표물질 중 니코틴과 호흡성먼지에 대한 상관계수 값이 가장 높은 0.78이었으며, 가스상 물질인 3-EP와 니코틴은 이 보다 약간 낮은 0.76을 보였다. 상관계수가 가장 낮은 경우는 3-EP와 호흡성먼지로 0.57의 상관계수 값을 보였다. 흡연지수와 가장 높은 상관계수 값을 보였던 3-EP를 기준으로 보면 가스상 물질인 니코틴이 입자상 물질인 호흡성먼지보다 더 높은 상관성을 보였다.

## 3) 지표물질간 농도 비

ETS 성분을 직접적으로 평가한다는 것은 불가능하므로 노출지표와 다른 구성분의 성분비(Ratio) 조사하여 노출량 추정에 사용한다면 ETS를 효과적으로 관리하는데 큰 도움이 될 것이다.

니코틴의 경우는 비흡연사무실을 기준으로 흡연실 104배, 흡연허용사무환경 14.3배를 나타냈으며, 3-EP의 경우는 흡연실에서 14.4배, 흡연허용사무실 1.8배의 농도를 보였다. 호흡성먼지의 경우는 흡연실에서 12.6배, 흡연허용사무실에서 2.0배에 해당하는 농도분포를 보였다. 흡연환경별 농도 변화가 가장 큰 물질은 니코

틴이었다.

흡연환경별로 니코틴을 1이라 했을 때의 다른 물질들의 비는 흡연실의 경우 호흡성먼지는 4.24배, 3-EP는 0.14배가 검출되었다. 흡연허용사무실의 경우는 니코틴의 양에 비해서 호흡성 먼지가 5.52배, 비흡연사무실의 경우는 39배가 검출되었다(표 3).

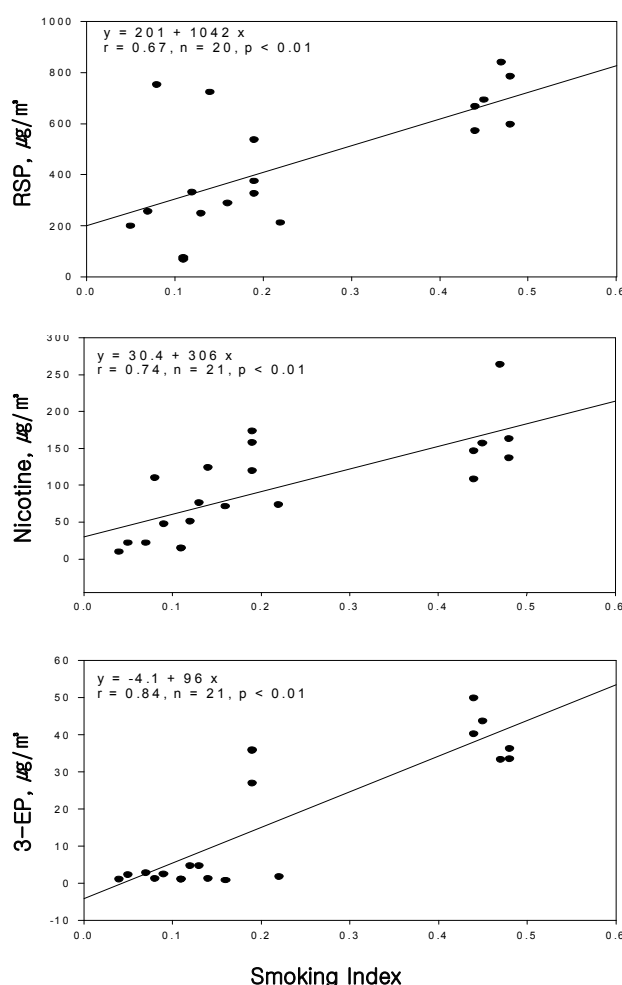


Fig. 3. The correlations of indicators(RSP, Nicotine, 3-EP) for ETS and smoking index.

## IV. 고 찰

### 1. 지표물질의 농도 분포

흡연환경별로 호흡성먼지의 농도 분포는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(표 4). 이와 같은 결과는 백남원 등(2000)이 실내사무환경의 흡연실과 비흡연사무실을 대상으로 조사한 자료와 비슷한 농도 수준이었으나, 비흡연사무실의 경우 다양한 범위의 농도 분포를 보여 황규석(2000)이 조사한 멀티문화방의 농도 수준과 유사하였다. 흡연허용사무실의 경우 흡연이 허용되는 식당을 대상으로 조사한 주성연

Table 4. The comparison of correlations coefficients between ETS indicators( $p < 0.01$ )

	Nicotine	3-EP	RSP
Nicotine	1	-	-
3-EP	0.76	1	-
RSP	0.78	0.57	1

(1999)의 연구결과와 비슷한 농도 분포를 보였다. 니코틴이나 3-EP에 비해서 호흡성먼지는 비흡연사무실에서 흡연실 대비 농도비가 낮게 관찰되었는데 이는 호흡성먼지의 경우 ETS 외에도 외부 유입이나 사람들의 활동, 시설물 또는 건축물의 마모 등의 여러 가지 발생원을 통해 실내환경으로 배출될 수 있어 니코틴이나 3-EP보다 특이성이 낮다고 할 수 있다.

흡연실에서 측정된 호흡성먼지의 모든 시료가 기준을 초과하고 있어서 이에 대한 대책 마련이 시급함을 확인할 수 있었다. 흡연실 "A"의 경우는 ASHRAE에서 제안하는 높은 환기율을 만족하고 있었으나 높은 흡연밀도의 영향으로 지표물질의 기준을 만족하지 못하고 있어 흡연실에 대한 대책 마련시 흡연밀도에 따른 환기량을 고려하여야 함을 알 수 있었다. ETS 중 호흡성먼지는 그 유해성이 다른 발생원과 비교해 보았을 때 매우 크다. ETS에서 나온 미세먼지는 석탄 화력발전소에서 나오는 미세먼지 양의 5% 미만이나 화력발전소의 미세먼지는 실외로 배출되고 ETS는 실내로 배출되므로 적은 양이지만 건강에는 더 큰 영향을 준다고 보고하였다(Smith 등, 1997). 우리 나라의 경우 실내 공기질을 결정하는 인자 중 먼지에 대해서는 총먼지에 대한 관리 기준을 제시하고 있어서 미세먼지에 대한 관리는 따로 하지 않고 있다. 실내공기질을 결정하는 주요인자인 ETS 관리에는 미세먼지의 관리가 중요하므로 추후 실내공기질 관리 기준 설정 시 이에 관한 많은 연구와 논의가 이어져야 할 것이다.

니코틴의 농도분포는 김운신 등(1996)이 사무환경을 대상으로 조사한 흡연사무실( $3.69\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 비흡연사무실( $0.48\mu\text{g}/\text{m}^3$ )보다 높은 농도분포를 보였으며, 백남원 등(2000)이 조사한 자료와 비슷한 수준이었다. ASHRAE(1989)에서 니코틴에 대한 실내환경 관리 기준으로 제안하고 있는 미국 ACGIH 기준의 1/10에 해당하는  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 비교해 보았을 때 "G" 흡연실을 제외한 모든 흡연실에서 기준을 초과하고 있었으나 흡연허용사무실, 비흡연사

무실, 흡연실인접지역 등의 모든 니코틴 농도는 기준을 초과하지 않았다(그림 2). ETS에 특이성이 있어서 좋은 지표물질이지만 Hammond 등(1987)이 지적한 바와 같이 니코틴은 90% 이상이 증기상으로 존재하므로 담배연기 전체나 입자상 물질에 대한 지표로서의 역할은 떨어진다 고 할 수 있다.

## 2. 지표물질의 적합성

모든 ETS 성분을 직접적으로 평가하는 것은 거의 불가능하므로 몇 가지 제한 사항을 충족시키는 ETS 지표물질을 활용한다면 정량적 노출측정에 많은 도움이 된다. 지표물질간, 흡연밀도, 환기량과 지표물질간 상관성 분석과 흡연환경별로 지표물질 비를 조사하여 ETS를 대표할 수 있는 물질을 선정하고 이를 노출평가에 활용한다면 경제성이 있고 특히 발암성 물질을 평가하는데도 활용할 수 있을 것이다.

지표물질간 상관분석은 니코틴을 기준으로 보았을 때 니코틴과 유사한 발생원인 3-EP와는 0.76, 호흡성먼지와는 0.78의 약간 더 높은 상관계수 값을 보였다. Learderer 등(1991)과 Turner 등(1992)이 조사한 바에 따르면 니코틴과 호흡성 먼지는 각각 0.54, 0.71, 0.7345의 상관계수 값을 갖는다고 밝혀 본 연구의 결과에서는 다소 높은 상관성을 보였다.

지표물질간 상호 농도비는 니코틴을 기준으로 호흡성먼지는 흡연실에서 4.24배, 흡연허용사무실에서는 5.52배가 검출되었다. Learderer 등(1991)이 steady-state chamber에서 측정된 니코틴과 호흡성먼지의 비는 약 14배 정도이며, Repace와 Lowrey(1980)는 약 10배의 차이가 난다고 보고하여 본 연구 결과보다 매우 높은 수준이었다. 이러한 차이는 미시환경의 습도, 온도, 희석배수, 주변 물질과의 상호작용 등에 의한 농도 차이로 생각된다.

본 연구를 통해서 밝혀진 지표물질간 상관성 및 농도비와 시간활동(Time-Activity) 조사를 통해서 사무환경에서 근

무하는 비흡연자와 흡연자의 노출량을 추정할 수 있으며, 궁극적으로 비흡연자의 위험성 평가에 활용하여 ETS 노출로 인한 위험도를 추정할 수 있을 것이다.

## V. 결 론

실내 사무환경에서의 ETS 농도 분포를 평가하고 지표물질의 특성을 파악하기 위해서 2000년 4월부터 2001년 4월까지 서울, 평택, 구미, 창원의 실내 사무환경에 대해 흡연환경에 따라 흡연실 7 개소, 흡연실인접지역 7개소, 흡연이 허용되는 사무실 3 개소, 비흡연사무실 5 개소를 대상으로 지표물질인 니코틴, 3-EP, 호흡성먼지를 공정시험법에 따라 공기중 시료를 채취하고 환경요인(흡연밀도, 공기교환횟수)을 측정 평가하였다. 연구결과는 다음과 같다.

1. 공기교환횟수는 흡연실에서 평균 10.4회로 나타났으며, 흡연실 7 곳 중 한 곳을 제외하고는 ASHRAE에서 흡연하는 장소에 대해 제안하고 있는 환기량 기준을 만족시키지 못하였다. 흡연밀도는 최고  $4.0\text{ cig}/\text{m}^3\text{hr}$ 에서부터  $0.2\text{ cig}/\text{m}^3\text{hr}$ 까지 나타났으며 평균  $2.1\text{ cig}/\text{m}^3\text{hr}$ 이었다.

2. ETS의 지표물질인 니코틴, 3-EP, 호흡성먼지는 대수정규분포를 하고 있었으며 흡연환경에 따라 대상 장소별로 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < 0.01$ ).

3. 흡연실에서 지표물질의 농도 분포를 확인한 결과 호흡성먼지, 니코틴, 3-EP의 기하평균 농도가 441.7, 93.4,  $8.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 흡연실에서 호흡성먼지와 니코틴의 경우 실내환경 관리기준을 초과하고 있어 흡연실에 대한 관리가 시급함을 알 수 있었다.

4. 지표물질과 흡연지수와의 상관성을 분석한 결과 지표물질인 호흡성먼지, 3-EP, 니코틴에 대한 상관계수가 각각 0.67, 0.84, 0.74로 비교적 높게 나타났다.

5. 지표물질들간 비는 흡연실에서 니코틴을 기준으로 호흡성먼지 4.24, 3-EP 0.14 배가 검출되었다. 장소별로는 비흡연사무

실을 기준으로 니코틴의 경우 흡연실 104배가 검출되었으며 호흡성먼지의 경우는 지표물질 중 가장 낮은 12.6배가 검출되었다.

## REFERENCES

- 백남원, 윤충식, 하권철 등 : 서울시내 주요 공중시설 흡연환경평가 및 개선에 관한 연구 한국인삼연초연구원 용역 보고서, 2000
- 백도명, 이선화, 양원호 등, 우리나라에서의 여성의 간접흡연실태와 폐암과의 연관성, '99 흡연위생연초보고서, 2000.
- 하권철, 실내환경의 환경성담배연기(ETS) 중 일부발암물질 노출지표에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문, 2001
- 황규석, 서울시내 PC방에서의 환경성담배연기(ETS) 농도에 관한 연구, 2000.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers(ASHRAE), ASHRAE 62-1989: Standards for Acceptable Indoor Air Quality, ASHRAE, 1989.
- Hammond, SK, BP Leaderer, AC Roche, and M Schenker, Collection and Analysis of Nicotine as a Marker for Environmental Tobacco Smoke, Atmos. Environ. 21:245-462, 1987.
- Jaakkola, MS, JJK Jaakkola, Assessment of Exposure to Tobacco Smoke, Eur Respir 10: 2384 ~ 2397, 1997.
- Leaderer BP, K Hammond, Evaluation of Vapor-Phase Nicotine and Respirable Suspended Particle Mass for Environmental Tobacco Smoke, Environ. Sci. Technol., 25:770-777, 1991.
- National Academy of Sciences, National Academy of Sciences Report: Environmental Tobacco Smoke, Measuring Exposure and Assessing Health Effect : GPO : Washington, DC, 1986.
- National Institute for Occupational Safety Health(NIOSH), Manual of Analytical methods, 4th ed, U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease control and Prevention, NIOSH, 1994.
- Olcerst, R, A Technique to use Data Loggers to Measure Effective Ventilation and Air Exchange Rates by Carbon Dioxide tracer, American Industrial Hygiene Association Journal, 55(9): 833-835, 1994.
- Piade, JJ, S D'andres, and EB Sanders, Sorption Phenomena of Nicotine and Ethenyl pyridine Vapors on Different Materials In a Test Chamber, Environmental Science and Technology, 33:2046-2052, 1999.
- Rando, RJ, PK Menon, HG Poovey, and SB Lehrer, Assessment of Multiple Markers of Environmental Tobacco Smoke(ETS) in Controlled, Steady-State Atmospheres in a Dynamic Test Chamber, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 53(11):699-704, 1992.
- Smith, CJ, SD Livingston, DJ Doolittle, An international literature survey of "IARC Group I carcinogen" reported in main stream cigarette smoke. Food Chem Toxicol. 35(10-11):1107-30. 1997.
- Turner, S, L Cyr, AJ Cross, The Measurement of Environmental Tobacco Smoke in 585 Office Environments, Environment International, 18:19-28. 1992.
- US Environment Protection Agency(EPA), Information at <http://www.epa.Gov/iaq/ets.html>. Environmental Tobacco Smoke. 2001.