

도시지역 사무실내 공기 중 환경담배연기의 측정
- 흡연이 부유먼지 농도에 미치는 영향을 중심으로 -

Measurement of Environmental Tobacco Smoke in the Air
of Offices in Urban Areas
- Focusing on the Impact of Smoking on the Concentrations
of Suspended Particles -

백성옥* · 박상곤¹⁾

영남대학교 건설환경공학부, ¹⁾해천대학 환경시스템과
(2003년 11월 26일 접수, 2004년 11월 16일 채택)

Sung-Ok Baek* and Sang-Kon Park¹⁾

School of Civil, Urban, and Environment Engineering, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea

¹⁾*Department Environ. System, Heycheon College, Daejeon, Korea*

(Received 26 November 2003, accepted 16 November 2004)

Abstract

This study was carried out to evaluate non-smoker's exposure levels to environmental tobacco smoke (ETS) in the air of offices in urban areas. A total of 65 offices were selected from two large cities, i.e. Daegu and Daejeon. The field sampling was conducted repeatedly in summer (1999) and winter (1999~2000). The measured ETS markers included respirable suspended particles (RSP as PM_{4.0}), vapor and particulate phase ETS markers, including nicotine, 3-ethnyl pyridine (3-EP), ultraviolet absorbing particulate matter (UVPM), fluorescing particulate matter (FPM), and solanesol in ETS particles (SolPM). RSP was measured gravimetrically by a microbalance. The particle samples were then used for the determination of particulate ETS markers by HPLC, while vapor phase markers determined by GC/NPD. The analytical methods were validated for repeatability, linearity, detection limits, and duplication precision. The concentrations of RSP and other ETS markers were significantly higher in smoking offices than non-smoking offices. Despite the similar smoking strength in each office for different seasons, the concentration levels of ETS components appeared to be higher in winter than summer. The contributions of ETS to RSP concentrations based on SolPM, FPM, and UVPM methods were estimated to be in the range of 15.2~25.3% in smoking offices, whereas 2.4~15.9% in non-smoking offices. The cooling and heating types did not affect significantly the concentrations of RSP and other ETS markers. Finally, further research issues were suggested to obtain more scientific information on the non-smoker's exposure to ETS with respect to the frame of risk assessment.

Key words: Environmental tobacco smoke (ETS), Smoking, Respirable suspended particles (RSP), Solanesol, 3-ethnyl pyridine (3-EP), Nicotine, Indoor air quality (IAQ)

*Corresponding author
Tel : +82-(0)53-810-2544 , E-mail : sobaek@yu.ac.kr

1. 서 론

1950년대 이후 수행된 대부분의 독성학적, 역학적 연구에 의하면 흡연과 관련한 발병률과 사망률의 주요 원인이 흡연 당사자의 직접 흡연에 의한 것으로 알려져 왔다. 그러나 최근 들어서는 담배 연기에 대한 비흡연자의 비자의적인 노출 즉, 환경담배연기 (environmental tobacco smoke, 이하 ETS)로 인한 보건학적 위해성에 대한 논란이 제기되면서 간접흡연은 중요한 사회문제로 대두되고 있다(USEPA, 1992; Surgeon General, 1986).

ETS란 흡연자가 내뿜는 주류연기(exhaled mainstream smoke)와 연소중인 담배로부터 직접 배출되는 비주류연기(sidestream smoke)가 혼합되어 공기 중에서 확산·회석된 상태의 담배연기를 의미한다. 특히 비주류담배연기의 경우 ETS의 약 85%를 점유하는 것으로 알려져 있으며(이문수, 1995), 불완전 연소로 인한 유해성분의 배출량은 주류담배연기 보다 오히려 더 심각할 수 있다고 보고된 바 있다(USEPA, 1992; NRC, 1986). 1986년에 미국 National Research Council은 미국 내에서 연간 3000명에 달하는 폐암의 발생이 ETS에 대한 노출에서 기인한다고 발표한 바 있으며(NRC, 1986), 이를 근거로 1990년 초 미국 EPA와 NIOSH에서는 처음으로 ETS를 인체발암성물질로 규정한 바 있다(USEPA, 1992; NIOSH, 1991).

일반적으로 ETS에 존재하는 많은 개별성분의 상대적인 양과 출현양상이 주류담배연기와는 상당히 다르고, 일반대중이 빈번히 노출되는 실내공기 중에 존재하는 각종 유해성분의 농도에 대한 흡연의 상대적인 기여분을 정량적으로 평가하기가 매우 어려워 원인과 결과에 대한 과학적인 판단근거가 제대로 마련되지 못하고 있다. 따라서 직접흡연이 아닌 ETS에 대한 폭로로 인한 비흡연자의 건강상의 악영향 판정 여부는 아직도 일부 논란의 대상이 되고 있다(Lee and Thorton, 1998).

국내에서도 최근 들어 환경문제에 대한 국민의식의 제고와 비흡연자들의 간접흡연에 대한 관심이 고조되면서 정부에서는 1995년 9월 국민 건강증진법을 발효하여 공공장소 등에서의 흡연을 규제하고, 흡연구역 설치를 의무화한 바 있다. 그러나 공공시설이

아닌 일반 민간 사무실 환경에서는 간접흡연으로 인한 영향을 배제할 수 없는 실정이다. 따라서 향후 ETS를 포함하는 실내공기질 기준 혹은 권고지침 마련을 위해서는 ETS 성분 농도에 대한 신뢰성 있는 정보가 필요하다.

국내의 경우 ETS 및 간접흡연에 대한 인체예의 노출정도의 평가와 관련하여 지금까지 체계적인 연구가 제대로 수행된 적은 드물며, 일부 소수 연구자에 의해 가정과 사무실 및 식당 등에서의 제한된 연구결과만이 제시되고 있는 실정이다(Baek *et al.*, 1997). 따라서 이들 자료의 획득을 위한 방법론의 개발 및 적용은 중요한 사안이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 대도시에 위치한 여러 유형의 사무실 환경에서 비흡연 근무자가 노출되는 실내공기 중 ETS의 주요 성분에 대한 농도를 측정하고, 나아가 ETS가 사무실내 실내 공기질 중 특히 호흡성 부유먼지 농도에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시료채취 장소 및 기간

본 연구에서는 대도시인 대구 및 대전지역에 위치한 각종 유형의 사무실을 대상으로 각 도시별로 50개의 장소를 임의로 선정하여 사전 조사하였다. 이들 사무실에 대한 현장탐방 결과 흡연허용 유무와 지리적 특성 및 사무실측의 내부사정 등을 고려하여 최종적으로 대구에서 36개, 대전에서 29개 지점을 선정하였다. 시료채취장소의 상세한 내용은 표 1에 나타내었다. 본 연구에서는 실내공기질에 미치는 계절요인의 영향을 파악하기 위하여 시료채취를 하절기

Table 1. Locations and smoking status of offices recruited in this study.

Subjects information	Number of subjects			
	Summer (n=65)	Winter (n=63)	Total (n=128)	
City	Dague	36	34	70
	Daejon	29	29	58
Smoking status when recruited	Smoking allowed	31	31	62
	Smoking not allowed	34	32	66
Smoking status during sampling	Smoking occurred	39	38	77
	Smoking not occurred	26	25	51

와 동절기로 나누어 반복 수행하였다. 하절기는 1999년 8월 11일부터 9월 2일까지, 동절기는 1999년 12월 2일부터 2000년 1월 7일까지 각각 동일한 장소 동일한 위치에서 시료를 채취하였다. 모든 시료는 근무 시간대인 오전 9시부터 오후 6시까지 약 8시간 동안 사무실내 비흡연 사무원의 앉은 상태에서의 호흡영역 높이에서 채취하였다. 또한 채취한 시료가 가급적 사무실 공간을 대변할 수 있도록 내부면적을 이동분하여 한 사무실 당 2개 지점에서 동시에 측정하였다.

2. 2 시료채취 장치 및 측정 항목

본 연구에서는 ETS에 관련된 입자상 및 기체상 시료들을 분리하여 동시에 채취하기 위하여 두 대의 펌프가 서로 다른 유량으로 운전되는 2채널 휴대용 ETS 샘플러(DoubleTake Sampler, SKC Inc., USA)를 이용하였다(그림 1). 이 장치는 ETS 시료채취를 위해 특별히 고안된 샘플러로서 자동 타이머와 시료채취시간의 지속시간 및 펌프가동상태의 정상 유무 등의 정보가 자동으로 기록된다(Baek and Jenkins, 2001; Jenkins *et al.*, 1996). 측정 항목은 (i) 호흡성 부유먼지, (ii) 입자상 ETS 지표물질로서 ultra-violet absorbing particulate matter (UVPM), fluorescing particulate matter (FPM) 및 solanesol (SolPM)의 3개 항목, 그리고 (iii)기체상 ETS 지표물질로서 3-ethnulpuridine(3-EP)와 니코틴이 포함된다.

2. 3 호흡성 부유먼지 (RSP)

먼지시료는 37 mm 직경의 Fluoropore 멤브레인 필터(pore size 1.0 μm, SKC Inc., USA)를 검은색 플라

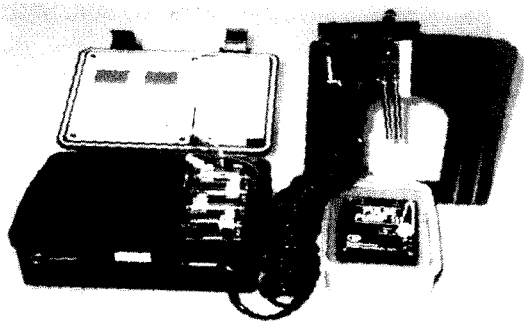


Fig. 1. ETS sampling system used in this study.

스틱 필터홀더에 장착하여 채취하였다. 이때 필터홀더 앞부분에 입도분리용 cyclone seperator를 부착하여 설계유량 2.2 L/mim에서 유효한계 입경(effective cut-off diameter, D50) 4.0 μm 이하의 미세입자들만을 채취하였다. 따라서 본 연구에서는 ETS 관련 연구(Jenkins *et al.*, 1996)에서 규정한 바와 같이 이들 미세입자들을 호흡성부유먼지(RSP)로 편의상 명명하였다. 필터의 무게는 초정밀 저울(Microbalance M3P, Sartorius Inc., Germany)을 사용하여 시료채취 전·후의 필터 무게를 5번씩 반복 측정하여 평균치를 구하고 그 차이를 계산하였다. 초정밀 평량에서 흔히 문제점으로 지적되는 정전기로 인한 측정오차를 최소화하기 위하여 필터무게 측정 직전에 비방사능 정전기 제거장치(Ionising Blower IB-8, Amersham Plc., UK)를 사용하여 정전기를 제거한 후 평량하였다.

2. 4 입자상 ETS 지표물질

RSP 평량이 끝난 후 먼지시료는 UVPM, FPM 및 SolPM 등과 같은 입자상 ETS 지표물질의 분석에 사용되었다. UVPM 분석을 위하여 먼지시료를 2 mL의 메탄올(HPLC grade)로 30분 동안 초음파로 추출하였고, 추출용액은 자외선 및 형광검출기가 직렬로 연결된 HPLC를 이용하여 UV흡광도 325 nm에서 측정하였다. 이동상 용매로는 메탄올을 유량 0.6 mL/min로 사용하였으며, UVPM농도는 ETS의 대리표준물질(surrogate standard)로서 2, 2', 4, 4'-테트라하이드록시벤조페논(THBP, Aldrich)을 사용하여 정량하였다. FPM 분석을 위한 시료추출법과 HPLC의 분석조건은 UVPM의 경우와 동일하였으며, 형광검출기 파장은 excitation 300 nm, emission 420 nm로 설정하였다. 대리표준물질로는 스킵올레틴(Scopoletin, 95%, Aldrich)을 사용하였다. UVPM과 FPM의 분석에는 별도의 분석칼럼이 필요 없으며, 단지 시료 주입 후 검출기까지의 도달시간을 지연시키기 위하여 약 5 m 가량의 스테인레스 스틸 모세관을 칼럼 대용으로 사용하였다.

메탄올 추출물 중의 솔라네솔(solanesol) 함량은 메탄올을 이동상 용매로 사용하여 100 μL sample loop와 UV과장 205 nm에서 역상 HPLC를 이용하여 분석하였다. 분석칼럼은 C₁₈ guard column (5 cm × 4.6 mm)이 장착된 Hypersil BDS C₁₈ column (15 cm × 4.6

mm, 5 µm pore size, Hypersil, UK)을 사용하였으며, 이때 용매의 유량은 2 µL/min으로 하였다.

이상과 같이 정량된 ETS 지표물질의 농도는 모두 ETS에 대한 간접적인 대리표준물질을 이용하였으므로 그 자체로 절대적인 의미는 없다. 따라서 RSP 농도와 호환할 수 있는 중량농도(µg/m³)로 변환하기 위해서는 아래와 같은 환산과정을 거쳐야 한다(ISO 2003; ASTM, 1994). 본 연구에서는 최근에 Nelson *et al.* (1997)이 조사한 한국산 담배에 대한 환산계수를 각각 적용하였다. 이 방법에 관한 보다 자세한 내용은 문헌에서 찾을 수 있다(ISO 2003; ASTM, 1994; Conner *et al.*, 1990).

$$\text{UVPM} = \text{THBP 상용 농도} \times \text{환산계수} (7.0)$$

$$\text{FPM} = \text{Scopoletin 상용 농도} \times \text{환산계수} (38.0)$$

$$\text{SolPM} = \text{Solanesol 농도} \times \text{환산계수} (35.0)$$

2.5 기체상 ETS 지표물질

니코틴과 3-EP는 XAD-4 수지를 함유한 가스 시료 흡착관(SKI Inc., USA)을 통해 약 1.0 L/min의 유량으로 공기를 흡입하여 채취하였다. 시료채취 후 흡착관은 플라스틱 마개로 완전 밀봉한 후 -15°C의 냉동고에 보관하였다. 흡착된 ETS 성분의 분석을 위하여 XAD-4를 2 mL 바이알로 옮긴 후 내부표준물질로서 퀴놀린(2.2 µg/mL)이 함유된 1.25 mL의 에틸 아세테이트를 용매로 사용하여 추출하였으며, 이때 유리벽면에 ETS 성분이 점착되는 것을 방지하기 위해 0.01% (v/v) 트리에틸아민으로 처리하였다(Ogden,

1991). GC 분석은 추출액 중 2 µL를 주입하여 질소·인 선택성 검출기(NPD)와 auto-sampler가 장착된 GC시스템(Perkin Elmer Autosystem XL, USA)을 이용하였다. GC 분석칼럼은 DB-5 (0.32 mm × 30 m, 1.0 µm, J and W Inc., USA)를 사용하였다. 3-EP에 대한 표준물질은 아직 상용적으로 제공되지 않으므로 3-EP의 표준물질로서 거의 동일한 특성을 갖는 4-ethynyl pyridine를 대리표준물질로 사용하였다(Jenkins *et al.*, 1996).

2.6 기타 실내환경 자료 조사

시료채취를 통한 화학성분 분석 자료 이외에 온도, 상대습도 및 사무실내에서의 흡연 담배개피 수, 환기 상태, 난방 연료와 형태, 내부 공간면적, 근무자의 수 등의 자료를 조사원이 현장에서 직접 파악하였다.

2.7 측정방법의 정도관리 및 평가

본 연구에서는 실험실 내부의 자체평가를 통하여 양질의 데이터를 확보하고자 측정 시스템의 반복 측정 및 분석을 통하여 재현성을 평가하였다. 또한 동일 시료를 중복 측정함으로써 분석방법의 정밀도를 평가하고자 하였다. 여름과 겨울철 각 계절별 RSP 및 ETS 성분의 농도결정을 위해 사용된 분석방법의 성능평가에 대한 결과를 표 2에 나타내었다. 분석방법의 선형성(linearity) 평가는 표준용액을 6~8단계로 희석한 시료에 대한 분석 자료를 이용하였다. 이때 각 계절별 검량선의 상관계수는 모든 측정항목에서 0.99 이상으로 나타났다. 또한 분석방법의 재현성

Table 2. Performance of analytical methods and lower detection limits (LDL) for ETS markers.

Analyte	Linearity ^a (R ²)		Repeatability ^b		LDL ^c (µg/m ³)	Number of data below LDL / Total	
	Summer	Winter	Summer	Winter		Summer	Winter
RSP	N.A ^d	N.A ^d	< 1.0%	< 1.0%	16.4	0/130	3/126
UVPM	0.99	0.99	1.8%	4.4%	0.24	0/130	0/126
FPM	0.99	0.99	4.5%	4.4%	0.05	0/130	0/126
SolPM	0.99	0.99	2.9%	2.5%	0.10	28/130	9/126
3-EP	0.99	0.99	13.4%	11.6%	0.04	0/130	0/126
Nicotine	0.99	0.99	7.6%	7.0%	0.08	0/130	0/126

^aLinearity indicates coefficient of determination for linear regression of calibration curves. ^bRepeatability was estimated as a relative standard deviation of 6 replicate analysis of a standard solution. ^cLower detection limit (LDL) for RSP was estimated based on three times the standard deviation of measured levels, while LDLs for UVPM, FPM, SolPM, 3-EP and nicotine were expressed as method detection limit (MDL), which was estimated as following; MDL = t(n-1, 0.99) × SD, where t(n-1, 0.99) is the student-t value for n-1 degree of freedom and 0.01 significance level, while SD is standard deviation of 10 replicate analysis of a standard solution at a low level concentration. LDL for samples were calculated based on average volumes of air sampled for each analyte, which are 1.06 m³ for RSP, UVPM, FPM, and SolPM, and 0.48 m³ for 3-EP, nicotine. ^dNot applicable.

은 3-EP가 11.6%를 나타낸 것을 제외하고는 상대 표준편차가 모두 7% 이내로 나타났다. 또한, 낮은 농도 수준의 자료에 대한 신뢰성을 검증하기 위해, 각 분석대상물질의 검출한계를 추정하였다. 그리고 RSP 및 ETS성분에 대한 분석방법의 성능평가 및 검출저한계치(lower detection limit)와 검출한계 이하로 나타난 자료 수를 표 2에 요약하였다. 본 연구에서는 검출한계 이하의 자료에 대해서는 편의상 본 연구와 유사한 다른 연구사례 (Baek *et al.*, 1997; Jenkins *et al.*, 1996; Heavner *et al.*, 1996)를 참고로 각 항목에 대한 검출한계의 1/2 값을 대입하여 통계처리에 포함하였다.

채취된 시료의 공간적 대표성을 평가하기 위하여 본 연구에서는 서로 다른 위치에 중복 설치하여 동일한 유량으로 동시에 채취한 시료 쌍(duplicate sample pairs)을 대상으로 두 측정 결과의 차이와 상관성을 각각 조사하였다. 평균중복정밀도(mean duplicate precision)의 경우 UVPM, FPM, 3-EP는 20% 범위내

로 나타났다. 반면에 RSP, SolPM 및 니코틴은 모두 25% 이하로 나타났다. 회귀분석 결과 측정항목의 중복시료간 상관계수는 RSP가 0.87, 입자상 ETS 지표 물질과 3-EP는 0.96, 니코틴은 0.89로 나타나 매우 높은 상관성을 보였다(그림 2).

3. 결과 및 고찰

3.1 ETS 성분의 농도분포 특성

본 연구에서는 각 사무실에서 2회 측정한 평균치를 대표치로 사용하였다. 표 3에는 여름철(65개)과 겨울철(63개)에 총 128개의 장소에서 측정된 ETS 성분 농도를 통계처리한 결과를 요약하였다. 표 3에 나타난 바와 같이 모든 측정항목에서 산술평균값이 중앙값보다 큰 것으로 나타났다. 이는 자료의 분포가 정규분포 유형에서 벗어남을 의미한다. 이와 같은 비정규형 분포는 실내공기질에 관련된 다른 연구에서

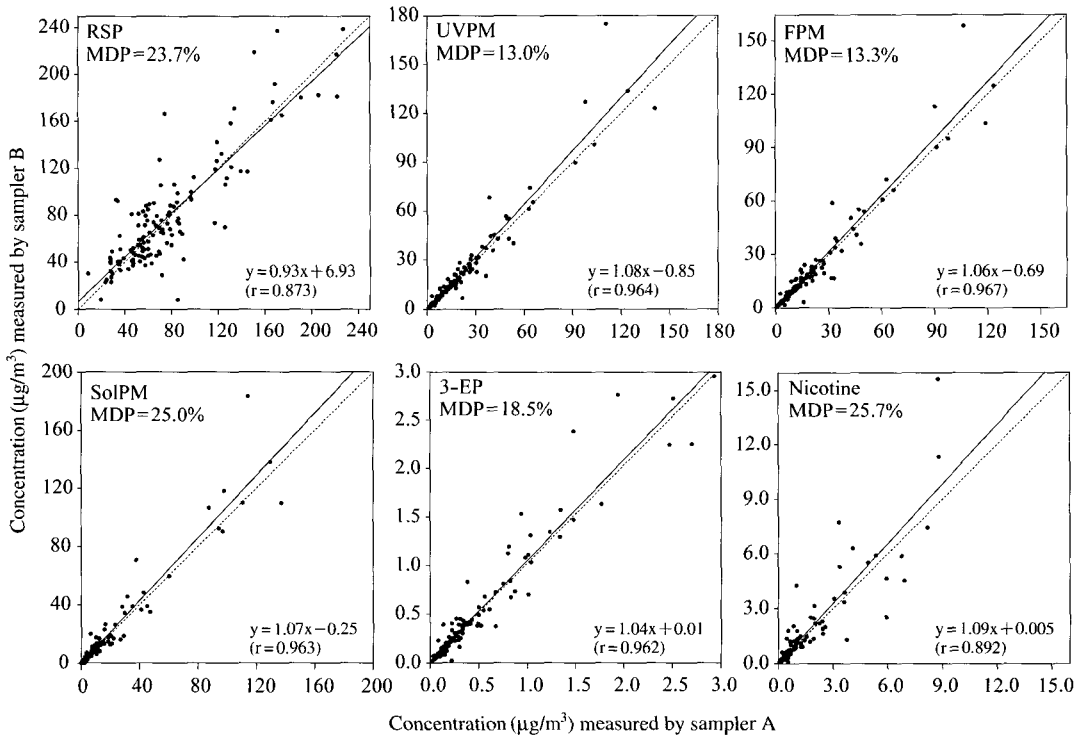


Fig. 2. Comparison of duplicate concentrations of RSP and ETS markers measured by two samplers (MDP : mean duplicate precision).

Table 3. Summary statistics for RSP and ETS markers concentrations (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in offices (n = 128).

Analyte	Median	Mean	S.D.	Range
RSP	66.4	77.3	44.8	13.8 ~ 232.5
UVP	12.9	21.5	26.4	0.7 ~ 142.8
FPM	11.7	19.6	24.5	0.6 ~ 132.5
SolPM	5.5	15.6	28.3	n.d ^a ~ 148.8
3-EP	0.25	0.45	0.56	0.02 ~ 2.94
Nicotine	0.56	1.33	1.94	0.08 ~ 12.19

^aNot detected: data below than LDL were replaced with a half value of LDL for statistical analysis

도 많이 보고된 바 있다(Baek *et al.*, 1997; Jenkins *et al.*, 1996; Cohen *et al.*, 1989). 따라서 측정대상성분의 각 그룹별 대표치로서는 산술평균보다는 중앙값을 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 그룹별 특성 비교에 있어서 편의상 두 대표치를 모두 사용하였다. 즉, 산술평균에 대한 그룹간 차이에 대한 유의성 검정은 정규분포 자료에 대한 모수검정법인 t-test를, 중앙값에 대해서는 비정규형 자료에 대한 비모수 검정법의 하나인 Mann-Whitney test (일명 Wilcoxon Rank Sum test, 이하 M-W test)를 각각 적용하였다. 한편, 대구와 대전에서 채취된 전체 시료(n = 128)를 대상으로 두 도시간의 지역적 차이에 대한 유의성을 검정한 결과 t-test 및 M-W test 모두 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다($\alpha = 0.05$). 따라서 본 연구에서는 두 그룹을 동일 모집단에서 나온 표본으로 가정하고 이후 지역간 구분 없이 전체 자료에 대하여 흡연유무 및 계절변동에 대한 영향을 평가하였다.

3. 2 실내 흡연이 ETS성분 농도에 미치는 영향
 흡연 유무에 따른 실내공기질과 ETS성분 농도를

평가하기 위하여 전체 자료를 흡연과 비흡연 그룹으로 나누어 비교하였으며, 그 결과를 표 4에 나타내었다. 본 연구에서는 흡연과 비흡연 사무실의 분류에 있어서 예비 조사시 파악된 사무실내 흡연허용 여부와는 관계없이 시료채취 당시의 실제 흡연 유무에 따라 재분류하였다.

흡연이 확인된 사무실에서의 RSP 농도는 최저 23.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 최고 232.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 반면, 비흡연 사무실에서의 농도는 최저 13.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 최고 203.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 나타났다. 따라서 두 그룹 모두 RSP의 농도가 매우 넓은 농도로 분포되어 있음을 알 수 있다. 이는 실내환경에는 실외공기의 침투, 건축자재, 연소기기, 사무기기 및 인간활동에서 기인하는 다양한 오염 물질이 존재할 가능성이 있으며, 특히 부유먼지는 담배연기 이외에도 각종 다른 오염원의 영향을 쉽게 받을 수 있는 항목이기 때문인 것으로 사료된다(Jenkins *et al.*, 2000; Wallace, 1996). RSP의 중앙값은 흡연 사무실이 73.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나 비흡연 사무실의 56.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 약 1.3배 정도 높은 것으로 나타났다($p < 0.01$). 또한, RSP 농도의 누적분포를 분석한 결과(그림 3) 국내 PM10의 대기환경기준 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간 평균치로서)을 초과한 사무실이 흡연그룹의 경우 13%, 비흡연 그룹은 약 4%인 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서 측정된 RSP는 PM4.0에 대한 것이므로 실제 PM10으로 환산할 경우 환경기준을 초과하는 빈도는 더 증가할 것으로 예상된다(백성옥 등, 2002).

입자상 ETS 지표물질의 흡연 및 비흡연 그룹간의 t-test 및 M-W test에 의한 유의성 검증 결과, 비흡연 사무실에 비해 흡연 사무실의 농도가 모두 높게 나타났다($p < 0.01$). 지금까지 제안된 ETS관련 RSP

Table 4. Comparison of concentrations of RSP and ETS markers in smoking and non-smoking offices.

Analyte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Smoking (S) offices (n = 77)				Non-smoking (NS) offices (n = 51)				S/NS ratio ^a	t-test p	M-W test ^b p
	Median	Mean	S.D.	Range	Median	Mean	S.D.	Range			
RSP	73.2	87.8	48.2	23.0 ~ 232.5	56.0	61.3	33.6	13.8 ~ 203.8	1.3	0.000	0.000
UVP	15.9	28.5	31.4	1.5 ~ 142.8	8.6	11.0	8.8	0.7 ~ 30.1	1.8	0.000	0.000
FPM	15.7	26.4	29.1	1.8 ~ 132.5	6.4	9.2	7.2	0.6 ~ 24.2	2.5	0.000	0.000
SolPM	9.5	23.2	34.2	n.d ~ 148.8	1.3	4.0	5.5	n.d ~ 21.3	7.3	0.000	0.000
3-EP	0.38	0.64	0.66	0.06 ~ 2.94	0.13	0.17	0.13	0.02 ~ 0.54	2.9	0.000	0.000
Nicotine	0.96	1.89	2.31	0.15 ~ 12.19	0.33	0.48	0.49	0.08 ~ 2.52	2.9	0.000	0.000

^aRatio of median concentrations smoking occurred during sampling to non-smoking occurred during sampling. ^bM-test : Mann-Whitney Test.

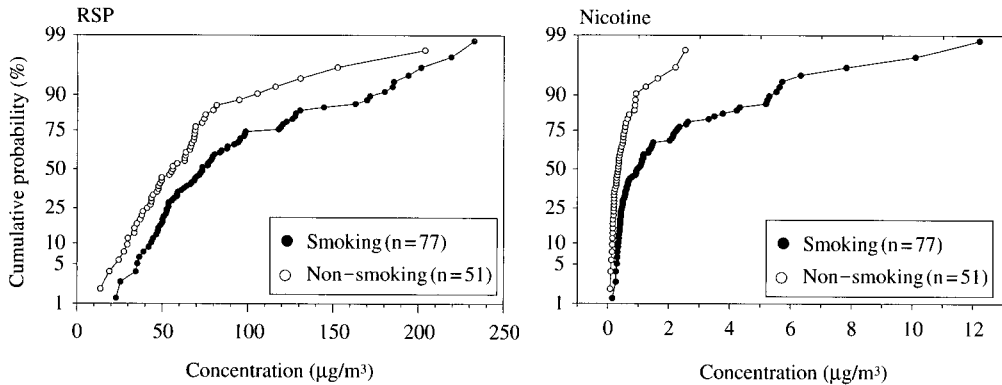


Fig. 3. Cumulative probability distributions of concentrations of RSP and nicotine in smoking and non-smoking offices.

농도의 추정기법으로는 UVPM, FPM 및 SolPM을 사용하는 세 방법이 통용되고 있다(CIAR, 1995). 그 중에서 ETS에 가장 선택적으로 감응하는 방법은 SolPM을 기준으로 추정하는 방법이며, 다음으로 FPM, UVPM 순으로 선택성이 떨어진다고 알려져 있다(Ogden and Maiolo, 1989). 여기에서 선택성이 떨어진다는 의미는 ETS 성분 이외의 다른 요인에 의해서도 영향을 받는다는 것을 의미한다. 따라서 UVPM과 FPM방법은 SolPM보다는 측정된 RSP 농도에 대한 ETS의 기여도를 상대적으로 과대평가하는 경향을 보일 수 있다(Lakind *et al.*, 1999; Baek *et al.*, 1997). 반면에 SolPM의 경우 실내공기 중에서 조명이나 채광에 의한 광분해와 검출한계의 민감성으로 인하여 실제보다 과소평가 될 가능성이 있다(Ogden and Maiolo, 1989).

본 연구에서는 이들 세 방법을 모두 사용하여 ETS의 영향을 평가하였다. 표 4에 나타난 바와 같이 가장 선택성이 좋은 것으로 알려진 SolPM 농도의 중앙값은 흡연 사무실이 $9.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 비흡연 사무실의 $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 7.6배나 높게 나타나 분석항목 중 흡연과 비흡연 그룹의 차이를 가장 명확히 보여주고 있다. UVPM보다는 ETS 선택성이 조금 더 나은 것으로 알려진 FPM의 경우는 흡연/비흡연그룹의 비가 2.5배로 나타났으며, UVPM은 1.8배 수준으로 나타났다. 따라서 두 방법 모두 SolPM의 경우에 비해서 ETS 지표물질로서의 기능이 약한 것으로 보인다.

기체상 물질로서 담배연기의 지표물질로 오래 동안 사용되어 온 니코틴과 최근 들어 니코틴 보다 더

우수한 지표물질로 알려진 3-EP의 경우에도 모두 뚜렷한 차이가 나타났다. 이들에 대한 흡연그룹의 중앙값은 각각 0.96 과 $0.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나, 비흡연 그룹의 0.33 과 $0.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 약 3배 높은 것으로 조사되었다. 니코틴은 담배연기에 고유한 물질임에는 분명하나 벽면, 가구, 옷 등의 표면에 대한 강한 점착성(혹은 잔류성)으로 인해 흡연의 존재 여부를 파악할 때 흔히 오류를 유발하는 문제점이 지적된 바 있다(Eatough *et al.*, 1989).

표 4에 나타난 결과를 보면 비흡연으로 분류된 사무실에서 SolPM에서만 농도가 검출되지 않은 경우가 있을 뿐 다른 ETS 지표물질들은 모두 어느 정도의 농도가 검출되었다는 점이다. 이는 사무실 밖 계단이나 복도 등 다른 흡연지역으로부터 ETS가 사무실 공간으로 스며들었거나, 시료채취 당시 조사원에게 확인되지 않은 흡연 행위도 있을 수 있었다는 점을 의미한다. 보다 중요한 요인으로는 UVPM과 FPM의 경우, 분석 파장 영역에서 흡광도에 영향을 미칠 수 있는 유기물질이 ETS 이외의 다른 발생원(특히 연소관련)에서도 배출될 수 있다는 점(Lakind *et al.*, 1999)과, 니코틴의 경우 과거에 실내의 각종 표면에 점착된 성분이 재방출될 가능성이 있다는 점 등도 고려할 수 있다(Eatough *et al.*, 1989).

3. 3 계절요인이 ETS 성분 농도에 미치는 영향

표 5에는 여름과 겨울철에 따른 RSP 및 ETS 지표물질의 농도에 대한 계절별 분포를 비교한 결과를 수록하였다. 본 연구에서는 ETS성분 농도의 계절 요

인을 평가하기 위하여, 동일한 사무실에서 여름과 겨울철 모두 측정된 자료만을 사용하였다(n=63). 또한, 두 그룹간의 대표치의 차이를 검정하기 위하여 산술 평균치와 중앙값에 대하여 각각 Paired t-test와 Wilcoxon signed rank test를 적용하였다. 유의성 검정 결과, 겨울철 농도가 여름철에 비해 모든 측정항목에서 높은 것으로 나타났다($\alpha=0.05$). 참고로 사무실의 단위면적(m^2)당 흡연한 담배개피수의 평균값은 여름철 0.24개피, 겨울철 0.28개피, 중앙값은 여름철 0.06개피, 겨울철 0.06개피로 나타났으며, 유의성 검증 결과 두 계절간의 차이는 없는 것으로 나타났다. 따라서 계절에 따른 ETS성분 농도의 차이는 사무실내의 흡연강도 뿐만 아니라 계절별 실내 환기용량의 차이에 따라 큰 영향을 받는 것으로 보인다. 여름철의 경우 자연환기나 냉방장치 가동에 의해 ETS가 희석되어 그 성분 농도가 낮아질 수 있으며, 반면에 겨울철에는 에너지절약을 위해 대부분의 사무실들이 내부 공간을 밀폐하는 경향이 있어 공기 유통이 제한되게 되므로 결과적으로 ETS 농도가 증가한 것으로 추정된다. RSP의 겨울과 여름철 농도비는 1.2로서 측정항목 중 가장 낮게 나타났는데, 이는 국내 도시 지역의 경우 RSP가 흡연이나 난방과 같은 실내요인 이외에도 실외공기의 영향을 많이 받고 있다는 점과 관련지을 수 있다(백성욱과 김윤신, 1998). 이와는 대조적으로 흡연에 가장 민감한 ETS 지표물질인 SolPM의 경우 겨울철이 여름철에 비해 5.4배 높은 농도로 나타나 비교적 환기가 억제된 겨울철 실내환경에서 흡연이 미세먼지의 중요한 발생원이라는 사실을 입증하고 있다.

그림 4에는 RSP와 ETS 지표물질에 대한 흡연과 비흡연 그룹간의 농도의 발생빈도를 계절별로 구분하여 나타내었다. RSP의 농도는 겨울철이 여름철 보

다 대기환경기준을 초과하는 빈도가 많은 것으로 나타났다으며, ETS 지표물질의 농도분포 범위는 흡연 사무실이 비흡연 사무실에 비해 매우 불규칙적인 분포를 보이면서 특히 고농도의 발생빈도가 두드러지게 증가하는 경향을 볼 수 있다. 이와 같은 자료들의 분포가 의미하는 바는 비록 동일한 계절이라 하더라도 ETS 농도는 상황에 따라 극심한 변동을 보일 수 있으며, 실내 환경 규모, 환기상태, 냉방 형태, 흡연자 수, 흡연 강도, 다른 배출원의 공존, 온도와 상대습도 등 매우 다양한 요인들에 의해 영향을 받을 수 있다는 점을 내포하고 있다(Jenkins *et al.*, 2000).

3.4 ETS가 실내 RSP농도에 미치는 영향 및 기여도 평가

실내공기 중 RSP농도에 미치는 ETS성분의 기여도를 평가하기 위하여 RSP 전체농도에 대한 UVPM, FPM 및 SolPM의 백분율을 각각 계산하였다(ISO, 2003; ASTM, 1994). 표 6에는 여름과 겨울철 전체 사무실의 RSP에 대한 ETS의 기여도를 추정하여 나타내었다. 본 연구에서 RSP에 대한 UVPM과 FPM의 기여도의 중앙값은 각각 20.9%와 17.0%로 UVPM이 FPM에 비해 다소 높게 나타났다. 반면, SolPM에 의한 기여도 추정의 중앙값은 7.4%로 가장 낮게 나타났다. 본 연구에서 추정된 RSP에 대한 ETS 기원성분의 전반적 기여도가 SolPM, FPM, UVPM의 순으로 농도가 높게 나타나는 경향은 문헌상의 ETS측정자료들과 비교해 볼 때 대체로 동일한 경향을 따르는 것으로 보인다(Heavner *et al.*, 1996; Jenkins *et al.*, 1996). 따라서 ETS 기여도를 추정함에 있어서 어느 특정한 방법 하나만을 적용하는 것보다는 SolPM 방법은 추정하한치를, UVPM방법은 추정상한치의 개념으로 사용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

Table 5. Comparison of concentrations of RSP and ETS markers in summer and winter.

Analyte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Summer (S) (n=63)				Winter (W) (n=63)				W/S ^a Ratio	Paired t-test p	WSRT ^b p
	Median	Mean	S.D.	Range	Median	Mean	S.D.	Range			
RSP	56.0	71.3	41.9	23.0~201.5	69.9	84.5	47.0	13.8~232.5	1.2	0.034	0.022
UVPM	6.0	12.6	20.5	0.7~102.3	21.9	30.8	28.8	6.3~142.8	3.7	0.000	0.000
FPM	5.9	13.2	20.2	0.6~96.6	19.1	26.2	27.0	4.1~132.5	3.2	0.000	0.000
SolPM	1.9	10.4	24.0	n.d~110.2	10.3	20.8	31.7	n.d~148.8	5.4	0.000	0.000
3-EP	0.18	0.37	0.50	0.02~2.47	0.34	0.55	0.61	0.08~2.94	1.9	0.000	0.000
Nicotine	0.39	0.83	1.28	0.09~6.32	0.92	1.85	2.36	0.08~12.19	2.4	0.000	0.000

^aRatio of median concentrations of winter to those of summer. ^bWilcoxon signed rank test.

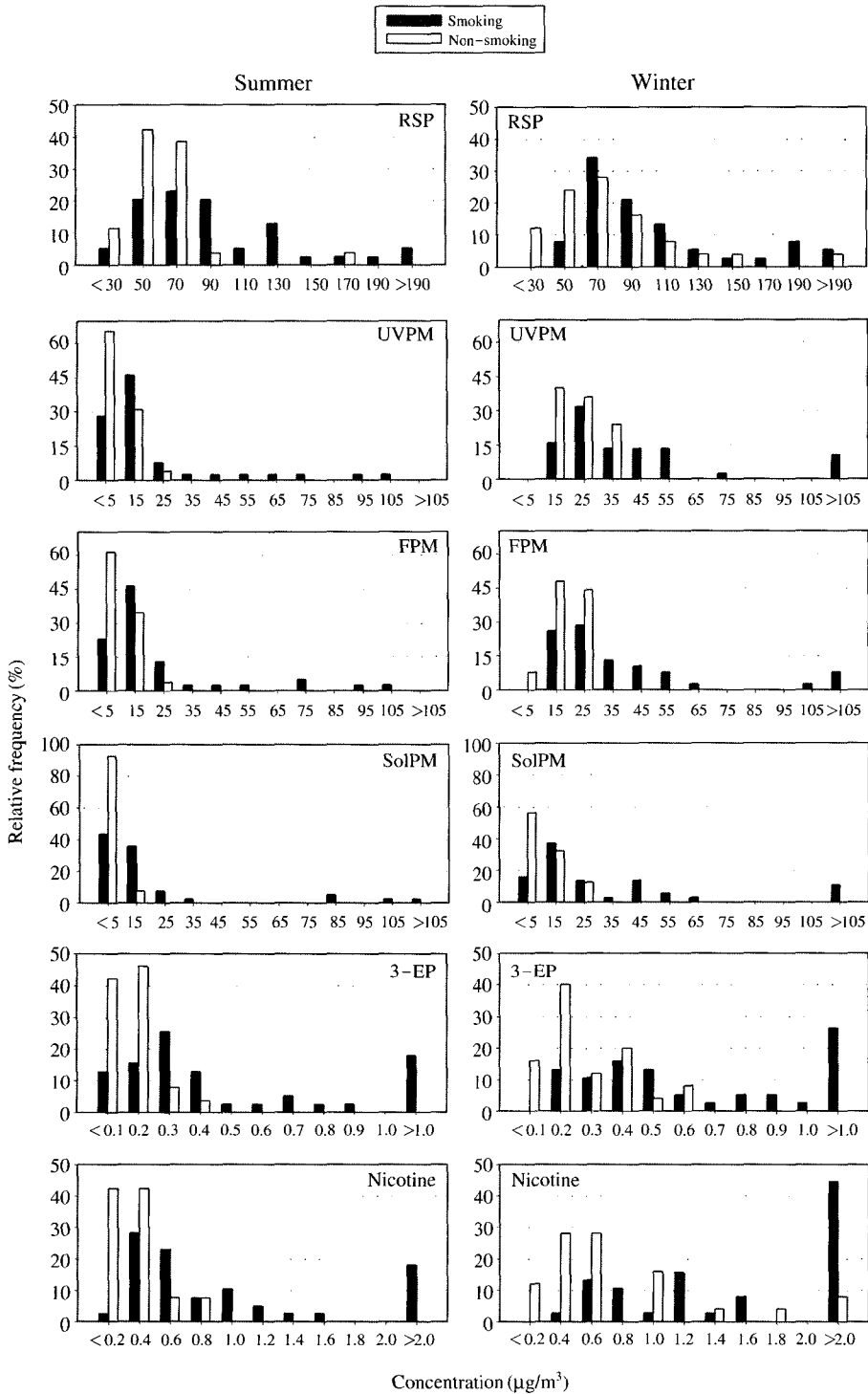


Fig. 4. Relative frequency distributions of concentrations of RSP and ETS markers for the summer and winter samples.

흡연유무에 따른 ETS의 RSP 농도에 대한 기여도를 비교한 결과는 표 7에 나타내었다. 흡연 사무실의 RSP에 대한 UVPM, FPM, SolPM의 기여도의 중앙값은 각각 25.3, 22.2, 15.2%로써 비흡연 사무실 15.9, 11.9, 2.4%에 비해 모두 유의적으로 높은 것으로 나타나 ETS성분이 RSP농도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한, 이들 자료들을 계절별로 비교한 결과는 표 8에 나타내었다. 여름철의 RSP에 대한 UVPM과 FPM의 기여도의 중앙값은 각각 9.7%와 10.3%로 비슷한 수준으로 나타났으며, 겨울철의 RSP에 대한 UVPM과 FPM의 기여도의 중앙값은 31.0%와 25.6%로 여름철에 비해 약 3배 가량 높게 나타났다. SolPM의 RSP에 대한 기여도의 중앙값은 여름철과 겨울철이 각각 3.0%, 15.2%로 UVPM과 FPM에 비해 RSP에 대한 기여도가 낮았으나, 겨울철이 여름철에 비해 5배 이상의 차이를 보이면서 높은 것으로 나타났다. 이는 SolPM이 담배연기에 가장 민감한 지표물질로서 외부 공기에 의한 실내 오염물질의 회석이 억제되는 겨울철에는 흡연으로 인한 영향이 상대적으로 심각할 수 있다는 점을 의미한다. 이상과 같이 RSP에 대한 입자상 ETS 지표물질의 기여도는 SolPM, FPM, UVPM의 순으로 높았으며, 지역별로는 유의적인 차이가 없었으며, 흡연 상태별, 계절에 따라 유의적인 차이가 있음을 알 수 있었다.

3.5 공간규모 및 냉·난방 방식의 영향 평가

본 연구에서는 단순히 흡연유무에 따른 분류에서

나아가 흡연강도가 사무실내 ETS 성분농도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 시료채취 기간 중 사무실내에서 피워진 담배개피 수를 함께 조사하였다. 여기서 흡연강도란 흡연개피 수를 사무실 규모(m²)로 나누어 정규화한 값(이하 단위 면적당 흡연개피 수)으로 정의된다. 불가피하게 담배개피에 대한 현장조사가 누락된 경우를 제외한 총 120개의 자료쌍을 대상으로 흡연이 전혀 없는 경우, 어느 정도(0.01~0.25 개피/m²) 있는 경우, 아주 많은 경우(0.26 개피/m² 이상)의 세 그룹으로 분류하였으며, 이에 대한 통계처리 결과는 표 9에 나타내었다. 여기서 흡연강도의 많고 적음에 대한 구분은 각 그룹의 자료의 수를 고려한 저자들의 임의적 판단이며 단지 흡연강도에 대한 각 그룹의 상대적인 크기를 나타내는 것 이외에 절대적인 의미는 없다. 이들 세 그룹에 대한 대표치의 유의성 검정에는 모수적 방법으로는 ANOVA를, 비모수적 방법으로는 Kruskal Wallis test(이하 K-W test)를 각각 적용하였으며, 단위 면적당 흡연개피 수에 따른 RSP와 ETS 지표물질의 농도는 모두 그룹 상호간에 모두 유의적인 차이를 보였다.

흡연 이외에 여름철 냉방과 겨울철 난방 방식에 따른 실내공기질의 상태를 평가하기 위하여 측정된 농도자료를 재분류하여 두 그룹간을 비교하였다(표 10). Berg (1993)는 일반적으로 실내에서의 에어컨의 사용은 공기질 개선에 긍정적 영향을 주는 것으로 알려져 있으나 적절한 유지관리가 선행되지 않는 한 반드시 그렇다고는 할 수 없다고 발표한 바 있다. 한편 Back *et al.* (1997)은 에어컨의 사용이 실내공간에서의 공기질 개선에 어느 정도는 효과적이며, 특히 에어컨 내부에 장착된 필터로 인해 에어컨이 있는 건물 실내에서는 RSP의 농도가 그렇지 않은 건물보다 크게 감소된다고 보고한 바 있다. 본 연구에서의 여름철 냉방장치 형태에 따른 RSP 농도는 중앙값 기준으로 볼 때 창문만 열어두는 자연 냉방 그룹과 에

Table 6. Estimated contributions of ETS to RSP concentrations in the indoor air of offices (n = 128).

Estimated by	Median	Mean	S.D.	Range
UVPM	20.9%	25.3%	19.2%	1.9~85.0%
FPM	17.0%	22.9%	17.5%	1.5~73.2%
SolPM	7.4%	16.3%	20.6%	0.1~98.4%

Table 7. Comparison of ETS contributions to RSP concentrations in smoking and non-smoking offices.

Estimated by	Smoking (n = 77)		Non-smoking (n = 51)		t-test P	M-W test ^a P
	Median	Mean	Median	Mean		
UVPM	25.3%	29.6%	15.9%	19.0%	0.001	0.004
FPM	22.2%	27.5%	11.9%	15.9%	0.000	0.000
SolPM	15.2%	22.8%	2.4%	6.4%	0.000	0.000

^aM-W test : Mann-Whitney Test

어른이나 선풍기 등의 냉방장치를 가동하는 기계적 냉방 그룹이 각각 55.8, 56.0 µg/m³으로 나타나 유의적인 차이가 없었다. 또한 ETS 성분 농도 역시 자연 냉방 그룹과 인위적 냉방 그룹간에 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 여름철의 냉방장치의 가동 유무가 RSP 및 ETS 성분 농도 저감에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 보인다. 그러나 자연 냉방 그룹의 표본 수가 작아서 본 연구의 결과만으로

단정하기는 어렵다. 또한 본 연구에서는 환기상태를 시간당 공기순환율(air change per hour, 이하 ACH)으로 정량화하지 못하였으므로, 환기상태에 따른 실내 공기질의 영향을 보다 명확히 규명하기 위해서는 향후의 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

보조 난방기구로서 등유난로 사용은 RSP의 농도를 상당히 증가시키는 것으로 알려져 있다(Baek *et al.*, 1997). 그러나 본 연구에서의 겨울철 난방장치 형태에 따른 RSP 농도 중앙값의 경우, 등유나 가스 난방기구 등의 연소형 그룹이 중앙집중식 스팀, 전열기구 등의 비연소형 그룹에 비해 높게 나타났지만 통계적으로 유의적인 차이는 없었다. ETS 지표물질의 경우는 오히려 비연소형 그룹이 연소형 그룹에 비해 다소 높게 나타났지만 역시 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 따라서 실내 난방관련 연소원이 ETS 지표물질의 농도에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 생각된다.

Table 8. Comparison of ETS contributions to RSP concentrations in summer and winter.

Estimated by	Summer (n = 63)		Winter (n = 63)		Paired t-test p	WSRT ^a p
	Median	Mean	Median	Mean		
UVPM	9.7%	14.9%	31.0%	35.9%	0.000	0.000
FPM	10.3%	16.0%	25.6%	29.8%	0.000	0.000
SolPM	3.0%	11.0%	15.2%	21.3%	0.000	0.000

^a Wilcoxon signed rank test.

Table 9. Comparison of concentrations (µg/m³) of RSP and ETS markers by the number of smoked cigarettes per area (m²).

Smoking strength	n		RSP	UVPM	FPM	SolPM	3-EP	Nicotine
0	51	mean ^{a)}	61.3	11.0	9.2	4.0	0.17	0.48
		median ^{b)}	56.0	8.6	6.4	1.3	0.13	0.33
0.01 ~ 0.25	35	mean ^{a)}	84.0	24.1	21.7	20.3	0.55	1.48
		median ^{b)}	73.3	15.4	13.0	9.5	0.38	1.02
≥ 0.26	34	mean ^{a)}	92.1	36.8	34.9	30.8	0.83	2.62
		median ^{b)}	68.8	21.6	19.1	12.8	0.54	1.25

^{a)}All the mean values were significantly different each other at a level of 0.05 by ANOVA.

^{b)}All the median values were significantly different each other at a level of 0.05 by Kruskal Wallis test.

Table 10. Comparison of concentrations (µg/m³) of RSP and ETS markers with respect to cooling and heating type in summer and winter, respectively.

	Classification	n		RSP	UVPM	FPM	SolPM	3-EP	Nicotine
Cooling type	Natural	6	mean ^{a)}	76.6	14.9	16.1	16.4	0.48	0.88
			median ^{b)}	55.8	5.7	5.9	0.5	0.12	0.26
	Forced	59	mean ^{a)}	69.7	12.2	12.8	9.8	0.35	0.82
			median ^{b)}	56.0	6.0	5.9	2.2	0.19	0.40
Heating type	Non-combustion	41	mean ^{a)}	78.0	30.5	26.2	21.5	0.55	1.92
			median ^{b)}	68.7	23.8	19.8	10.5	0.38	1.09
	Combustion	22	mean ^{a)}	96.4	31.5	26.2	19.5	0.54	1.72
			median ^{b)}	76.3	21.5	17.9	8.4	0.28	0.76

^{a)}Two mean values were not significantly different at a level of 0.05 by the Student-t test.

^{b)}Two median values were not significantly different at a level of 0.05 by the Mann-Whitney test.

4. 결 론

본 연구는 대도시 지역에 위치한 비흡연 근무자를 대상으로 ETS가 사무실내 실내공기질에 미치는 영향을 평가하고, 나아가 ETS의 주요 성분에 대한 개인 피폭량 결정 및 ETS 흡입량에 따른 보건상의 영향을 추정하는 독성평가의 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

사무실내 흡연상태별 농도분포와 RSP에 대한 UVPM, FPM, SolPM의 기여도는 비흡연 사무실에 비해 흡연 사무실이 유의적으로 높게 나타났으며, 단위 면적 당 흡연개피 수와 ETS 성분 농도와의 직접적인 비례관계가 있음을 알 수 있었다. 또한 실내의 환기 상태에 따라 농도 변동이 심하게 나타남을 여름철과 겨울철의 자료의 비교를 통해 파악할 수 있었다. 계절별로 흡연강도는 비슷한 수준이었음에도 불구하고 사무실내 모든 측정항목의 농도가 여름철에 비해 겨울철에 높게 나타나 RSP 및 ETS 성분은 계절요인의 영향을 많이 받는 것으로 추정된다. 특히 겨울철의 경우 실내 흡연에 따라 비흡연자에게 폭로되는 ETS 농도가 여름철에 비해 훨씬 더 큰 것으로 나타나 실내공기오염물질의 경우 공기의 순환(환기) 상태에 따라 오염물질에 대한 피폭 정도가 결정됨을 알 수 있었다. 그러므로 특히 겨울철 흡연 사무실의 경우 흡연공간을 별도로 분리하거나, 적절한 공기순환을 위하여 환기 상태를 개선할 필요가 있다고 사료된다.

본 연구의 제한점으로는 시료채취 장소에서 정확한 환기량 자료나 공기 교환율 자료를 정량적으로 파악하지 못하였다는 점을 들 수 있으며, 향후 이들 자료와 함께 보다 정밀한 흡연강도 관련 정보를 수집하여 ETS 지표물질 농도와 실내 공기질의 변동과 관련지어 설명할 수 있는 연구가 필요하다고 사료된다. 아울러 측정된 ETS 농도자료와 비흡연자의 혈중이나 뇨중의 니코틴 농도와 비교함으로써, 간접흡연에 노출된 비흡연자의 ETS에 대한 피폭량을 보다 구체적으로 정량화하여 ETS폭로에 대한 인체 위해성 평가에 관한 연구가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

백성욱, 김윤신 (1998) 도시지역 실내환경 유형별 공기질 특

성평가 - 가정, 사무실 및 식당을 중심으로. 한국 대기보전학회지, 14(4), 343-360.

- 백성욱, 박지혜, 서영교 (2002) 실내 · 외 공기중 부유먼지 측정방법 상호간의 비교평가 - 종량법을 대상으로. 한국 대기환경학회지, 18(4), 285-295.
- 이문수 (1995) Environmental Tobacco Smoke의 이화학적 특성. 한국담배과학회지, 17(1), 79-97.
- ASTM (1994) Standard test method for estimating the contribution of environmental tobacco smoke to respirable suspended particles based on UVPM and FPM. *Annula Book of ASTM Standards*, 11, 1-19.
- Berg, D.W. (1993) *Indoor Air Quality and HVAC Systems*, Lewis Pub., 220 pp.
- Baek, S.O. and R.A. Jenkins (2001) Performance evaluation of simultaneous monitoring of personal exposure to environmental tobacco smoke and volatile organic compounds, *Indoor and Built Environment*, 10, 200-208.
- Baek, S.O., Y.S. Kim, and R. Perry (1997) Indoor air quality in homes, offices, and restaurants in Korean urban areas - indoor/outdoor relationships. *Atmos. Environ.*, 31, 529-544.
- Center for Indoor Air Research (1995) *A Summary of Workshop on Experimental Generation of and Exposure to Environmental Tobacco Smoke in Beijing, China*. CIAR, MD., 11 pp.
- Cohen, M.A., P.B. Ryan, Y. Yanagisawa, J.D. Spengler, H. Ozkaynak and P.S. Epstein (1989) Indoor/ outdoor measurements of volatile organic compounds in the Kanawha valley of West Virginia. *J. Air Pollut. Control Ass.*, 39, 1086-1093.
- Conner, J.M., G.B. Oldaker III, and J.J. Murphy (1990) Method for assessing the contribution of environmental tobacco smoke to respirable suspended particles in indoor environments. *Environ. Tech.*, 11, 189-196.
- Eatough, D.J., C.L. Benner, H. Tang, V. Landon, G. Richards, F.M. Caka, J. Crawford, E.A. Lewis, and L.D. Hansen (1989) The chemical composition of environmental tobacco smoke III. Identification of conservative tracers of environmental tobacco smoke, *Environ. Int.*, 15, 19-28.
- Guerin, M.R., C.E. Higgins, and R.A. Jenkins (1987) Measuring environmental emissions from tobacco combustion: sidestream cigarette smoke literature review. *Atmos. Environ.*, 21, 291-297.
- Heavner, D.L., W.T. Morgan, and M. Ogden (1996) Determination of volatile organic compounds and respirable particulate matter in New Jersey and Pennsyl-

- vania homes and workplaces. *Environ. Int.*, 22, 159-183.
- ISO (2003) *International Standard No. 18144 - Environmental Tobacco Smoke - Estimation of Its Contribution to Respirable Suspended Particles - Method Based on Solanesol*. Geneva, Switzerland.
- Jenkins, R.A., M.R. Guerin, and B.A. Tomkins (2000) *The Chemistry of Environmental Tobacco Smoke: Composition and Measurement*. 2nd ed., Lewis Pub. 467 pp.
- Jenkins, R.A., A. Palausky, R.W. Counts, C.K. Bayne, A.B. Dindal, and M.R. Guerin (1996) Exposure to environmental tobacco smoke in sixteen cities in the United States as determined by personal breathing zone air sampling. *J. Exp. Anal. Environ. Epidem.*, 6, 473-502.
- Lakind, J.S., R.A. Jenkins, D.Q. Naiman, M.E. Ginevan, C.G. Graves, and R.G. Tardiff (1999) Use of environmental tobacco smoke constituents as markers for exposure. *Risk Analysis*, 19(3), 359-373.
- Lee, P.N. and A.J. Thornton (1998) A critical commentary on views expressed by IARC in relation to environmental tobacco smoke and lung cancer. *Indoor Built Environ.*, 7, 129-145.
- NIOSH (1991) *Environmental Tobacco Smoke in the Workplace*. Current Intelligence Bulletin 54.
- NRC (1986) *Environmental Tobacco Smoke: Measuring Exposures and Assessing Health Effects*. National Academy Press, Washington DC, 337 pp.
- Nelson, P.R., F.W. Conrad, S.P. Kelly, K.C. Maiolo, J.D. Richardson, and M.W. Ogden (1997) Composition of environmental tobacco smoke (ETS) from international cigarettes part II: nine country follow-up. *Environ. Intnl.*, 23, 47-54 (1997).
- Ogden, M.W. (1991) Use of capillary chromatography in the analysis of environmental tobacco smoke. *Capillary Chromatography - The Application*, 1st ed., Chapter 5, Huthig, Heidelberg, Germany.
- Ogden, M.W. and K.C. Maiolo (1989) Collection and determination of solanesol as a tracer of environmental tobacco smoke in indoor air. *Environ. Sci. Technol.*, 23, 1148-1154.
- Surgeon General (1986) *The Health Consequences of Involuntary Smoking. A report of the Surgeon General*. DHHS, PHS, CDC, Office on Smoking and Health, Rockville, MD, 259 PP.
- US EPA (1992) *Respiratory Health Effects of Passive Smoking: Lung Cancer and Other Disorders*. EPA 600/690/006B.
- Wallace, L. (1996) Indoor particles: a review. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 46(2), 98-126.