

산업보건

실내사무환경에서의 환경성담배연기(ETS) 중
지표물질에 관한 연구

하권철* · 백남원** · 박동욱*** · 윤충식****

*경남 창원시 사림동 창원대학교 보건·생화학과

**서울 종로구 연건동 서울대학교 보건대학원

***서울 종로구 동숭동 한국방송통신대학교 환경보건학과

****경북 경산시 하양읍 대구가톨릭대학교 산업보건학과

〈초록〉

The markers for Environmental Tobacco Smoke(ETS) are necessary to obtain, to interpretate and to provide the data of quantitative exposure assessment. The purpose of this research is to evaluate Indoor environment using the concentration of ETS and the correlations between markers(RSP, nicotine, 3-EP) and environmental conditions(smoking density, ventilation rate). The mean ACH(air change per hour) in smoking rooms showed non-compliance with ASHRAE standard value. 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($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The correlation coefficients between RSP and SI, 3-EP and SI, and Nicotine and SI were 0.67, 0.84, 0.74 respectively. The correlation coefficient between nicotine and 3-EP, Nicotine and RSP, and RSP and 3-EP were 0.76, 0.78, 0.57 respectively.

1. 서론

실내공기질(Indoor Air Quality, IAQ)과 관련한 건강상의 영향은 SBS(Sick Building Syndrome)와 BRI(Building-Related Illness)로 구분할 수 있다. 실내공기질을 결정하는 중요한 오염원 중 하나가 발암물질로 확인된 환경성담배연기(Environmental Tobacco Smoke, ETS)이다. 미국 환경보호청(EPA)에서는 쉐련, 담배, 파이프 담배, 시가의 끝 부분이 탈 때 방출되어 지는 연기와 흡연자의 폐에서 배출되는 연기의 혼합물이라고 ETS를 정의하고 있다. ETS는

간접연기라고도 불리며, ETS에 노출되는 것을 비자발적 흡연, 간접 흡연, 수동 흡연이라고 한다. 흡연자가 담배를 피울 때 발생하는 담배연기는 흡연자가 직접 들며 마시는 주류연(Mainstream Smoke)과 담배를 피우는 사이에 담배의 타고있는 앞부분에서 방출되는 부류연(Sidestream Smoke)으로 구분할 수 있으며, 대부분 유해물질의 경우 부류연에서의 농도가 주류연 보다 높게 나타난다.

다양한 구성분의 ETS의 건강상의 영향을 파악하기 위해서는 양-반응 관계에 의해 그 공기 중 농도를 파악하여야 하며 이를 위해 지표물질을 사용하고 있다. 많은 연구 결과 니코틴, 3-Ethenylpyridine(3-EP), 호흡성먼지(Respirable Suspended Particulate, RSP) 등이 좋은 지표물질로 추천되고 있다.

사무직 근로자의 ETS 노출량 평가를 위해서 니코틴, 3-EP, 호흡성먼지 등의 지표물질을 측정하였으며, 지표물질간, 흡연밀도와 환기량 등의 환경요인과 지표물질간 상관성 분석을 통해 ETS에 대한 적절한 지표물질을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실내 사무환경에 대해 흡연실 7, 흡연실과 인접한 복도 7, 흡연허용사무실 3, 비흡연사무실 5 개소를 대상으로 흡연을 통하여 발생하는 ETS의 수준을 파악하기 위하여 지표물질인 니코틴 40개, 3-EP 40개, 호흡성먼지 37개의 시료를 채취 분석하였다. 또한 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 지표물질의 농도 분포 변화를 파악하여 지표로서의 적합성을 규명하였다.

니코틴과 3-EP의 경우는 NIOSH 공정시험법 2551에 따라 XAD-4 흡착관(80/40 mg)을 개인시료채취기에 연결하여 1 ℓ/min의 유량으로 5시간 정도 지역시료로 채취하였다. 분석은 질소·인 검출기(NPD)가 장착된 가스크로마토그래피(GC)를 이용하였다.

호흡성먼지는 NIOSH의 'Aerosol Collected by Sampler with 4-μm Median Cut Point'에 따랐으며, 데시케이터에 하루이상 컨디셔닝 시킨 0.45 μm 공극의 PTFE 여과지를 2단 카세트에 넣어 조립한 뒤 10 mm-Nylon Cyclone에 장착하여 1.7 ℓ/min의 유량으로 5시간 정도 지역시료로 채취하였다.

환경영향 인자 중 ACH는 미국 TSI사의 Q-Check CO₂ Meter(Model 8731)를 사용하여 이산화탄소 농도 감소법(CO₂ Decay Method)으로 측정하였다. 흡연밀도(Smoking Density, SD)는 다음과 같이 채취 시간당 흡연된 담배 수를 실내의 면적으로 나누어 계산하였다. 흡연지수(SI)는 환기율과 흡연량을 동시에 고려하는 지수로 흡연밀도를 ACH로 나눈 값으로 정의하였다.

$$SD(\text{cig}/\text{m}^3 \cdot \text{hr}) = \frac{\text{No. of Smoked Cigarettes in Sampling Time (cig)}}{\text{Area}(\text{m}^2) \times \text{Sampling Time (hr)}}$$

지표물질간, 환경 및 시료채취 장소간 상관성 분석 및 농도 차이를 규명하기 위해 ANOVA 을 실시하였다. 지표물질들에 대해 W-test(Shapiro & Wilk Test)한 결과 대수정규분포를 하고 있어, 대표값으로 기하평균과 기하표준편차등을 통계치로 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

실내사무환경을 흡연 환경에 따라 흡연실, 흡연실인접지역, 흡연허용사무실, 비흡연사무실 등으로 나누어 조사하였다. ACH의 경우 흡연실에서 평균 10.4로 흡연허용 사무실의 5.3보다 높게 나타났으며 ACH에 대해 미국 ASHRAE(1989)가 환기기준으로 제안하고 있는 15~20 회/시간에 대해 7 곳의 흡연실 중 6 개소는 기준에 미치지 못하고 있었다. 흡연실에서 흡연밀도는 평균 2.1 $\text{cig}/\text{m}^3 \cdot \text{hr}$ 로 나타났으며, 흡연밀도와 환기량을 동시에 고려한 SI의 경우 흡연실에서 평균 0.23이었으며 최소 0.05, 최대 0.48이었다.

ETS의 지표물질인 니코틴, 호흡성먼지, 3-EP 등에 대한 분석 결과를 실내사무환경의 흡연 환경에 따라 표 1에 나타내었다. 지표물질 세 가지 모두 흡연실에서 가장 높게 나타났으며 흡연환경 별로 유의한 차이를 보였다($p < 0.01$).

니코틴의 경우 호흡성먼지나 3-EP의 농도 분포와는 달리 흡연허용사무실과 흡연실인접지역간 농도 차이가 명확하게 나타나는 것을 볼 수 있다(Fig 1).

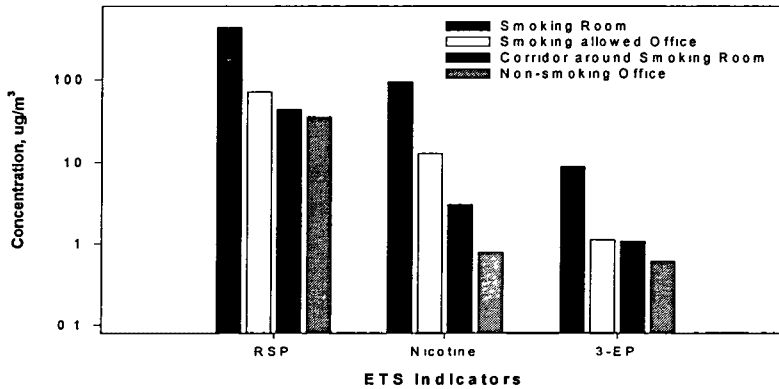


Fig. 1. The comparison of geometric mean concentrations of indicators for ETS by category of office indoor environments.

Table 1. 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 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)

흡연실에서 측정된 호흡성먼지의 경우 측정된 모든 시료가 공중위생법(총먼지), 지하생활공기질관리법(미세먼지 PM10), 미국 NAAQS에서 정하고 있는 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하고 있어 7 개

소의 흡연실 모두 쾌적한 실내공기질을 유지하지 못하는 것으로 나타나 이에 대한 대책 마련이 시급함을 확인할 수 있었다(Fig. 2). 흡연실에 대한 대책 마련시 흡연밀도에 따른 환기량을 고려하여야 한다.

지표물질간 상관성을 분석하기 위하여 호흡성먼지, 3-EP, 니코틴을 대상으로 상관성을 분석한 결과 니코틴과 호흡성먼지에 대한 상관계수 값이 가장 높은 0.78이었으며, 상관계수가 가장 낮은 경우는 3-EP와 호흡성먼지로 0.57의 상관계수 값을 보였다.

ETS 성분을 직접적으로 평가한다는 것은 불가능하므로 노출지표와 다른 구성분의 성분비(Ratio) 조사하여 노출량 추정에 사용한다면 ETS를 효과적으로 관리하는데 도움이 된다. 니코틴의 경우는 비흡연사무실을 기준으로 흡연실 104배, 흡연허용사무환경 14.3배를 나타냈으며, 호흡성먼지의 경우는 흡연실에서 12.6배, 흡연허용사무실에서 2.0배에 해당하는 농도분포를 보였다. 흡연환경별 농도 변화가 가장 큰 물질은 니코틴이었다.

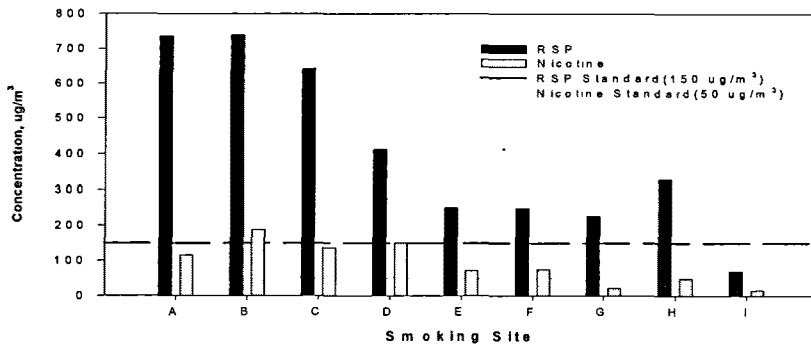


Fig. 2. The comparison of mean concentration of RSP and nicotine by smoking site

4. 결론

실내 사무환경에서의 ETS 농도 분포를 평가하고 지표물질의 특성을 파악하기 위해서 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 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 공기교환횟수는 흡연실에서 평균 10.4회로 나타났으며, 흡연실 7 곳 중 한 곳을 제외하고는ASHRAE에서 흡연하는 장소에 대해 제안하고 있는 환기량 기준을 만족시키지 못하였다.
2. ETS의 지표물질인 니코틴, 3-EP, 호흡성먼지는 대수정규분포를 하고 있었으며 흡연환경에 따라 대상 장소별로 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.01$) 흡연실에서 지표물질

의 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.

3. 지표물질들간 비는 흡연실에서 니코틴을 기준으로 호흡성먼지 4.24, 3-EP 0.14 배가 검출되었다. 장소별로는 비흡연사무실을 기준으로 니코틴의 경우 흡연실 104배가 검출되었으며 호흡성먼지의 경우는 지표물질 중 가장 낮은 12.6배가 검출되었다.

〈참고문헌〉

- Jaakkola, MS, JJK Jaakkola, Assessment of Exposure to Tobacco Smoke, *Eur Respir J* 10: 2384~2397, 1997.
- Leaderer BP, K Hammond, Evaluation of Vapor-Phase Nicotine and Respirable Suspended Particle Mass as Markers for Environmental Tobacco Smoke, *Environ. Sci. Technol.*, 25:770-777, 1991.
- 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.
- Repace, JL, AH Lowrey, Indoor Air Pollution, Tobacco Smoke and Public Health, *Science* 208 : 464, 1980.