

## 실내 공기 및 사람의 뇨중 담배연기 모니터링법에 대한 연구

신 호 상

공주대학교 환경교육과

### The Study on Monitoring of Environmental Tobacco Smoke(ETS) in Human Urine and Indoor Environments

Ho Sang Shin

Department of Environmental Education, Kongju National University,  
ShinKweun-dong 183, Kongju, Cheungnam, 314-701, Korea

Monitoring of environmental tobacco smoke(ETS) in urine and indoor environments was performed. Urinary samples were extracted with a ethyl ether at pH 9.6. XAD-4 traps were used as sampling devices combined with a personal pump. Desorption was performed with methanol in sonicator and analysis was with a GC-NPD. As a results, gas-phase concentrations of nicotine in indoor environments ranged from 0.016-0.516 mg/m<sup>3</sup>. Nicotine and cotinine concentration in urine ranged from 0.80-2.60 and 20.94-22.46 ng/mL, respectively. The analysis results show how young children and adults in Korea suffer from secondhand smoke and that through the accurate determination of cotinine in human samples the risk of lung cancer and heart disease must be predicted.

**Key words** : ETS, monitoring, nicotine, cotinine

#### 1. 서 론

환경중 담배연기(Environmental Tobacco Smoke, ETS)에 대한 유해성은 지난 20년간 지속적으로 연구되어왔고 그것의 대책이 제안되어 왔다.<sup>1-6</sup> 미국 EPA는 1992년 ETS를 사람의 확실한 폐 발암물질로서 선언하였고<sup>1</sup> 미 산업안전보건국(U. S. Occupational Safty and Health Administration, OSHA)<sup>2,6</sup>에서도 작업장에서 ETS를 규제하는 법률제정을 제안하고 있다. 미국 심장협회는 간접흡연이 비흡연자들의 심장질환의 중요한 원인으로 분석하고 있다.<sup>4</sup> 이와 같이 ETS는 심장 및 폐질환의 직접적인 원인으로 간주되고 있고 이를 규제하기 위한 법률적인 제정이 밀박침 되어야 할 것이다. 작업장, 사무실 및 가정 등에서 ETS에 노출의 정도가 얼마가 되는지에 관한 연구들이 외국에서는 많이 이루어져 왔다. 그러나 국내에서는 이와 같은 연구가 전무한 상태이다. 국내에서도 이에 대한 대책이 체

계적으로 세워지려면 국내의 여러 환경조건 하에서 노출된 사람들과 그들의 생체시료 중에 ETS의 노출 정도를 측정하는 것이 필요할 것이다. 일반적으로 공기 중에 오염되어있는 ETS를 측정하기 위해서는 공기 중에 니코틴(nicotine)을 분석한다. 또한 생체시료 중에 ETS에 의한 노출 정도를 측정하기 위해서는 담배의 주성분인 니코틴과 이것의 체내 대사체인 코티닌(cotinine)이 중요한 측정화합물로서 연구되어 왔다.<sup>3,7-9</sup> 연구된 결과에 의하면 공기 중에 니코틴 함량은 공기 중 담배연기의 농도와 매우 높은 상관성을 보이고 있었고 공기 중 니코틴은 또한 간접흡연자의 뇨중 코티닌의 농도와 상관성이 높았다.<sup>10-12</sup> 그밖에 Repace 등은 타액 중 코티닌의 농도가 혈중 코티닌의 농도와 매우 상관성이 높을 뿐 아니라 직접흡연자와 간접흡연자의 구별을 위해서도 유용하게 사용할 수 있는 좋은 지표임을 발표하였다.<sup>13,14</sup> 비흡연자의 체내에 코티닌의 함량은 폐암과 심장질환 발생률과 매우 상관성이 있을

뿐만 아니라 이로 인한 사망에 이르는 경우도 체중 코티닌의 함량과 매우 상관성이 있다는 연구들이 있었다.<sup>1,2,15-19</sup>

이와 같이 담배의 ETS와 건강과의 상관성을 연구하기 위해서나 이를 규제하기 위해서는 무엇보다도 환경 및 생체시료 중에서 니코틴과 코티닌 또는 그 외의 지표물질을 분석하는 방법의 개발이 필수적이다. 저자는 혈중 그리고 뇨중 니코틴과 코티닌의 농도를 검출할 수 있는 방법을 발표한 바 있다.<sup>20</sup> 이를 토대로 본 연구에서는 국내의 여러 환경 중에서 ETS에 의한 노출정도를 측정하려하며 이를 위해서 공기 중에 니코틴과 뇨중에서 니코틴 및 코티닌의 함량을 측정하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 시료 채취방법 및 시료의 조제

공기 중에 ETS의 연구를 위해서 호프집, 당구장 및 가정집을 선택하여 이곳들의 공기를 채취하였다. 공기채취를 위해서 파이렉스 유리관에 60-80 mesh, 10 m<sup>2</sup>/g의 Carbo-pack C (Supelco) 3 cm와 20-40 mesh, 100 m<sup>2</sup>/g의 Carbotrap (Supelco) 7 cm의 graphitized carbon black 충전제를 사용한 10 cm 길이, 3.8 mm i.d.의 흡착 칼럼을 사용하였으며 전지로 작동되는 개인시료포집기(personal air sampler : Gilian, MSA, SKC. U.S.A)를 사용하여 100 mL/min의 흡착속도로 1시간 동안 공기를 흡착시켰다.<sup>21</sup> 흡착된 시료는 sonicator에서 methanol로 5분간 탈착시켰다.

뇨시료는 호프집, 당구장 및 사무실에 종사하는 종업원들과 가정집의 흡연자 가족 3명으로부터 개인적으로 갈색 유리병에 받아 4°C 냉장 보관하였다가 분석하였다.

### 2.2. 표준물질 및 시약

니코틴 및 코티닌은 Sigma사(미국)로부터 구입하였으며 ethyl ether, methanol은 모두 J. T. Baker사(미국)의 LC용을 사용하였다. 무수 황산나

트륨은 Yakuri사(일본)로부터 구입하여 300°C에서 12시간 동안 구운 후 식혀 사용하였으며 graphitized carbon black(40~60mesh)은 Acros Organic사(벨지움)으로부터 구입하여 사용하였다.

### 2.3. 분석 기기 및 분석조건

사용한 분석장비는 Hewlett Packard 5890 series II gas chromatograph(GC)와 nitrogen-phosphorus detector(NPD)를 사용하였으며 분석에 이용한 컬럼은 HP-5MS (5% phenyl methyl siloxane)이었다. 본 연구에 사용되었던 전반적인 GC-NPD의 사용조건은 Table 1과 같다.

**Table 1.** Operating conditions of GC-NPD for analysis of nicotine and cotinine.

Parameter	Analytical Conditions				
Column	HP-5MS(Cross-linked 5% phenylmethylsiloxane 30m×0.25mm I.D.×0.25µm F.T.)				
Carrier gas	He at 1.17ml/min				
Split ratio	1/10				
Injection port temp.	280°C				
Detector temp.	280°C				
Oven temp. program	initial temp(°C)	initial time(min)	rate (°C/min)	final temp.(°C)	tinal time (min)
	80	0	20	300	5

### 2.4. 시료의 분석<sup>20</sup>

뇨 실험을 위해 시험관에 니코틴과 코티닌이 없는 것으로 확인된 비흡연자의 뇨 5 mL를 넣고 내부표준물질 W,N-diisopropyl-1,1-amino-N-dodecane (DIPA-12) 500 µg/mL, 25 µl를 넣은다음 니코틴과 코티닌 100 µg/mL을 0, 10, 20, 50 그리고 100 µl를 단계적으로 첨가한 후 용매 추출한다. 사용하는 추출용매는 diethylether 0.5 mL를 사용하였고 무수 황산나트륨 3 g을 넣은후 10분간 흔들어 준다음 원심분리후 유기층을 GC에 주입하여 분석하였다. 시료분석은 위와 같은 방법으로 하였고 여기에 니코틴과 코티닌 표준용액의 첨가없이 수행하였다. 정량분석은 GC-NPD를 이용하여 얻은 각 피크의

면적을 내부표준물질의 면적비로서 검량선을 작성한 후 시료 중 니코틴과 코티닌의 농도를 구하였다.

### 3. 결과 및 고찰

담배는 오래 전부터 합법적인 마약으로서 국가의 재정적 수단으로서 활용되어 왔으며 이로 인한 제 3자에 주는 피해가 아무리 클지라도 논란의 대상이 되지 않았으나 최근 들어 환경 중에 담배연기는 더 이상 합법적이지 못하게 되었다. 실제 담배연기중에는 지금까지 알려진 발암물질 또는 발암물질로 추정되는 물질이 60종 이상이 확인되고 있고 EPA는 이러한 환경 중 담배연기 즉 ETS를 하나의 발암물질로서 규정하고 있다. 담배연기는 직접흡입에 의해 피해를 줄 뿐 아니라 간접적으로 피해를 주기도 한다. 담배연기는 다음의 3가지로 구분지을 수 있다. 첫째, mainstream smoke으로서 연기가 필터를 거쳐 흡연자의 폐에까지 도달되었다가 배기 되어 나오는 것과 둘째, mainstream smoke의 한 부분으로서 연기가 필터를 거쳐 흡연자의 폐에까지는 도달되지 않고 중간에 배기 되어 나와 주변환경에 퍼지는 것 그리고 마지막으로 sidestream smoke로서 연기가 필터를 거치지 않고 담배 끝에서 타서 주변환경으로 퍼지는 연기로 구분지을 수 있다. 이들 세 가지 종류의 연기의 독성은 연기가 필터를 거치지 않고 담배 끝에서 타서 주변환경으로 퍼지는 sidestream smoke이 가장 강하고 두 번째로 연기가 필터를 거쳐 흡연자의 폐에까지는 도달되지 않고 중간에 배기 되어 나오는 연기이며 연기가 필터를 거쳐 흡연자의 폐에까지 도달되었다가 배기 되어 나오는 mainstream smoke이 가장 독성이 적은 편이다. 비흡연자가 담배연기에 오염된 실내공기에 노출되는 것을 간접흡연 (involuntary or passive smoking)이라 하며 일반적으로 흡연자는 mainstream smoke에 의해 해가 되나 간접흡연자는 mainstream smoke과 sidestream smoke의 모두가 호흡기를 통해 폐에 도달되어 충분히 흡수됨으로써 간접흡연자는 직접흡연자보다도 더 건강에 해로워 질 수 있는 것이다. 이것은 다음의 몇 가지 문제점으로 공공의 건강문제가 되

어왔다. 첫째, ETS는 발암성물질이라는 점이고 둘째, ETS는 쉽게 퍼질 수 있고 제거가 쉽지 않아 폭넓게 노출이 될 수 있다는 점이다. 셋째, 이러한 노출은 본인의 의사와 무관할 수 있다는 점이다. 따라서 ETS는 작업장이든 가정이든 이의 규제가 불가피하다.

본 연구에서는 사무실, 당구장, 호프집 그리고 가정집에서의 공기 중 ETS에 의한 오염의 정도와 이곳에서 거주 또는 근무하는 사람들의 뇨 중에 니코틴 및 코티닌의 함량을 조사하였다. 뇨 중 니코틴과 코티닌의 분석방법은 저자에 의해 연구된 방법을 사용하였으며 이 방법의 정도관리 결과는 발표된 논문<sup>20</sup>에 기술되어 있어 본 논문에서는 생략하였다.

사무실, 당구장, 호프집 그리고 가정집의 공기 중에 니코틴 함량을 조사하여 아래의 Table 2에 정리하였다.

**Table 2.** The contents of nicotine in office, billiard room, beer hall and house air.

Compound	Office (mg/m <sup>3</sup> )	Billiard room (mg/m <sup>3</sup> )	Beer hall (mg/m <sup>3</sup> )	House (mg/m <sup>3</sup> )
Nicotine	0.016	0.516	0.323	0.041

위의 Table 2에서 알 수 있는 바와 같이 직장의 사무실, 당구장, 맥주집 등에서의 ETS의 노출은 매우 심각하다. Repace등<sup>10</sup>은 10<sup>-6</sup>의 유해도로서 계산하여 작업장 공기 중에 니코틴의 최소허용농도 값을 7.5 ng/m<sup>3</sup>으로 제시하고 있는데 여기서 계산된 유해농도 값은 우리의 음용수 중에서 비소나 다른 발암물질을 규제하기 위해 설정한 값과 같은 유해도를 갖는다. 위의 표에서 측정된 값을 비교하면 당구장과 맥주집은 이 기준치보다 약 50-80배 높은 농도를 보이고 있다. 이와 같은 환경에서 근무하고 있는 작업자의 ETS의 노출정도는 매우 심각하다고 볼 수 있다. 가정에서의 ETS에 의한 노출의 위험도는 더 심각하다. 가정에서는 작업장보다도 더 폐쇄적이고 공기 순환도 적다고 볼 수 있으며 어린아이와 노인들이 함께 거주하여 노약자들에게 대한 노출이 매우 심각하다고 볼 수 있다. 위의 측정치에서도 알 수 있는 바와 같이 한 가정집에서

측정된 거실 공기에서의 니코틴 함량은  $41 \text{ ng/m}^3$  으로서 비록 당구장이나 맥주집 보다는 낮은 농도이지만  $10^{-6}$ 의 유해도로서 계산된 작업장 공기 중에 최소허용농도값( $7.5 \text{ ng/m}^3$ )보다 5배 이상의 농도를 보이고 있어 우리 가정들이 위해한 ETS에 의해 얼마나 노출되어 있는지를 알 수 있다. 위의 자료들은 조사수가 부족하여 여러 환경에 대한 ETS의 오염정도를 대표할 수 있다고는 볼 수 없으나 조사의 필요성을 제시하는 데는 충분한 역할을 할 수 있다고 본다.

위의 환경에서 작업 또는 거주하고 있는 사람들의 뇨에서 니코틴 및 코티닌의 함량을 조사하여 Table 3에 정리하였다. 사무실, 당구장 및 호프 집에서 근무하고 있는 직원의 뇨 중에서는 니코틴이  $0.80\text{-}2.60 \text{ ng/mL}$ 의 범위로 검출되고 있으며 코티닌은  $20.94\text{-}22.46 \text{ ng/mL}$ 의 농도로 검출되고 있다. 뇨 중 ETS에 의한 노출정도를 알 수 있는 지표로서는 코티닌의 농도가 더 정확하다. Repace등<sup>10</sup>은  $10^{-6}$ 의 유해도로서 계산된 뇨 중 코티닌의 최소허용농도값을  $62 \text{ ng/ml}$ 로 제시하고 있다. 앞의 Table 2에서 제시되어진 공기 중 니코틴의 농도를 비교할 때 사무실, 당구장 및 호프집에서 근무하고 있는 직원의 뇨 중에서는 코티닌이 매우 높을 것이라고 예상되었으나 실제로는 그러하지 않았다. 이는 노출시간에 따라 뇨 중 코티닌의 농도가 크게 달라지기 때문에 각 작업자의 노출시간을 고려하지 않아서 위와 같은 결과를 나타낼 수 있다고 본다. 추가로 뇨의 비중에 따라서도 농도 차이가 크게 생길 수 있으므로 creatinine의 단위무게당 무게로 계산하는 방법도 고려해야 할 것이며 이를 보완할 수 있는 기술적인 방법이 강구되어야 할 것이다. 한 가정집의 3식구의 간접흡연으로 인한 ETS의 노출의 정도의 결과는 매우 놀랄 만 하다. 조사된 3명은 하루 2갑 정도로 흡연하는 한 할아버지의 가족들로서 비 흡연자인 할머니, 4세, 6세된 손자 어린 아이들이다. 이들의 뇨 중 니코틴과 코티닌의 함량을 분석하였다. Table 3에서 알 수 있듯이 니코틴은  $1.17\text{-}3.23 \text{ ng/mL}$ 의 농도를 보이고 있고 코티닌은  $4.91\text{-}808.63 \text{ ng/mL}$ 의 농도 분포를 보이고 있다. 특히 6세 어린이의 경우 뇨 중 최소허용농도인  $62 \text{ ng/ml}$  보다는 높은  $73.5 \text{ ng/mL}$ 의 농도 값을 보이고 있어

매우 심각함을 알 수 있다. 더욱이 놀랄만한 사실은 할머니의 뇨 중 코티닌의 농도가 약  $808 \text{ ng/ml}$  으로서 보통의 strong smoker의 뇨 중 코티닌의 농도와 비슷하고 제시된 최소허용농도인  $62 \text{ ng/ml}$  보다는 10배 이상으로 높게 나타난 점이다. 그 이유는 할머니가 ETS에 의한 노출시간이 길기 때문으로 해석되어 진다. 즉 할머니는 거의 하루종일을 흡연자인 할아버지와 거주하면서 장기간 ETS에 노출되었다고 볼 수 있다. 이와 같이 국내에서도 ETS에 의해 작업장, 사무실, 공공시설 및 가정 등에서 많은 피해가 예상되는데 이에 대한 연구가 거의 진행되어 오지 않았다. 간접흡연에 대한 연구는 미국에서 많이 연구되었는데 조사된 자료에 의하면 미국 내에서만도 매년 62,000명이 심장질환으로, 5000명이 폐암환자로 그리고 후두암, 소아 돌연사, 신생아의 체중미달 등의 문제가 일어나고 있다. 또한 간접흡연은 미 EPA에서 비소, 석면, 벤젠, 방사성 물질, 염화비닐 등과 함께 Class "A"의 확실한 발암 물질로 규정하고 있으며 이들은 배기, 희석, 공기정화 등의 방법에 의해 허용값까지 내릴 수가 없다는 것이 특징이다. 우리 나라도 이와 같이 생체시료 중에서 ETS 지표물질들을 측정을 통해 폐암이나 심장질환의 발병을 미리 예방할 수 있을 것이다. 따라서 국내에서도 실제 흡연자, 비흡연자 및 간접흡연자의 생체시료 중 농도를 측정함으로써 담배연기로부터 국민 건강의 보호와 피해를 줄이기 위한 체계적인 연구와 정책적 결단이 시급히 필요한 실정이다.

**Table 3.** The concentration of nicotine and cotinine in urine from nonsmokers working or dwelling in the office, billiard room, beer hall and house.

Compounds	Results (ng/mL) of human urines					
	Office man	Worker in billiard room	Worker in beer hall	3 years old Child	6 years old Child	old Woman
Nicotine	0.80	0.95	2.60	1.53	3.23	1.17
Cotinine	22.46	20.94	21.71	4.91	73.50	808.63

#### 감사의 글

이 연구는 공주대학교 과학교육연구소에서 지원

을 받아 수행하였으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. U. S. Environmental Protection Agency, **1992**, Washington, D.C. 20460, "Respiratory Health Effects of Passive Smoking: Lung Cancer and Other Disorders" (EPA 600/6-90/006F), USA.
2. U. S. Dept. of Labor, Occupational Safety & Health Administration, **1994**, 29 CFR Parts 1910, 1915, 1926, and 1928 Indoor air quality, proposed rule Fed Reg 59 #65, Tues, pp. 15968-16039, USA.
3. National Research Council, **1986**, Environmental Tobacco Smoke Measuring Exposures and Assessing Health Effects, National Academy Press, Washington, D.C.
4. American Heart Association, **1992**, vol. 86, pp 1-4, A. E. Taylor, D. C. Johnson and H. Kezemi. American Heart Association, Circulation, USA.
5. J. L. Repace and A. H. Lowrey, *Science*, **1980**, 208, 464-474.
6. National Institute for Occupational Safety and Health, **1991**, Current Intelligence Bulletin # 54, Environmental Tobacco Smoke in the Workplace, Lung Cancer and Other Health Effects, NIOSH, Cincinnati, USA.
7. N. L. Benowitz, *Epidemiol. Rev.*, **1996**, 18, 188-204.
8. N. L. Benowitz, **1983**, "The Use of Biologic Fluid Samples in Assessing Tobacco Smoke Consumption," National Institute on Drug Abuse Research Monograph Series 48-Measurement in the analysis and treatment of smoking behaviour, J. Grabowski, and C.S. Bell, ed.
9. Surgeon General, **1986**, The Health Consequence of Involuntary Smoking (U.S. Dept. of Health & Human Service, Washington, D.C.
10. J. L. Repace and A.H. Lowrey, *Risk Anal.*, **1993**, 13, 463-475.
11. B. P. Leaderer and S.K. Hammond, *Environ. Sci. Technol.*, **1991**, 25, 770-777.
12. M. C. Marbury, S. K. Hammond and N. J. Haley, *Am. J. Epidemiol.*, **1993**, 137, 1089-1097.
13. D. B. Abrams, M. J. Follick, L. Biener, K. B. Carey, and J. Hitti, *Am. J. Publ. Health*, **1987**, 77, 846-848.
14. J. L. Repace, J. Jinot, S. Bayard, K. Emmons and S.K. Hammond, *Risk Analysis*, **1998**, 18, 71-83.
15. E. T. H. Fontham, P. Correa, P. Reynolds, A. Wu-Williams, E. S. Greenberg, P. A. Buffler, S. D. Greenberg, V. W. Chen, T. Alterman, P. Boyd, D.F. Austin and J. Liff, *JAMA*, **1994**, 271, 1752-1759.
16. E. T. H. Fontham, P. Correa, A. Wu-Williams, P. Reynolds. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.*, **1991**, 1, 35-43.
17. P. Reynolds, E. T. H. Fontham, P. Correr, A. Wu, P. A. Buffler and R. S. Greenberg, *JAMA*, **1996**, 275, 441-442.
18. Dongseok Lho, Hosang Shin, Bokyung Kang, Heang Kee Paek, Seungki Kim, Jeongae Lee, Younglim Kim and Jongsei Park, *J. Kor. Chem. Soc.*, **1991**, 35, 659-666.
19. F. de Waard, J. M. Kemmeren, L. A van Ginkel and A. A. M. Stolker, *Brit. J. Cancer*, **1995**, 72, 784-787.
20. S. Park, B. Seo, J. You, N. Kim, H. Shin, W. Han and I. Kim, *Anal. Sci. & Tech.*, **1997**, 10(1), 1-8.
21. G. Bertoni, V. Di Palo, R. Tappa and M. Possanzini, *Chromatographia*, **1996**, 43, 296-300.