

흡연시 발암성 물질의 체내 잔존율에 대한 연구 - 주요 휘발성 유기화합물을 중심으로

김기현^{*} · 최여진 · 홍윤정 · 양혜순¹ · 이진홍² · 이용기³

세종대 지구환경과학과, ¹삼성전자, ²충남대학교 환경공학과, ³경기도 보건환경연구원
(2004. 6. 30 접수, 2004. 8. 26 승인)

Studies on the body - retaining rate of smoking-related carcinogens using some important volatile organic compounds (VOC)

K.-H. Kim^{*}, Y.-J. Choi, Y.-J. Hong, H.-S. Yang¹, J.-H. Lee² and Y.-K. Lee³

Dept. of Earth & Environmental Sciences, Sejong University, ¹Sam Sung Electronics, ²Dept. of Environmental Engineering, Chungnam National University, ³Gyeonggi Institute of Environment and Health

(Received Jun. 30, 2004, Accepted Aug. 26, 2004)

요 약 : 본 연구에서는 담배 흡연과 관련된 유해성분들의 발생특성을 비교하기 위하여, BTEX를 위시한 주요 방향족 VOC 성분과 포름알데하이드와 아세트알데하이드를 포함하는 카보닐 화합물의 분포특성을 각각으로 비교하고자 하였다. 이를 위해, 직접흡연에 해당하는 exhaled mainstream smoke (EMS)와 간접흡연에 해당하는 side-stream smoke (SS) 시료 등을 분석하고, 이들의 농도분포를 비교하였다. 필터를 제거한 상태에서 흡입되는 담배 연기의 경우, 유해한 성분들이 수 백 ppm 수준의 고농도로 존재한다는 것을 확인하였다. 반면, 흡연자가 비흡연시에도 날숨을 통해 이들 성분을 수 십에서 수 백 ppb의 농도로 배출하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 분석 결과와 날숨과 들숨의 관계로부터 주요 흡연성분들의 체내 잔류율 등을 유추해 보았다. 이러한 추정에 의하면, 방향족 및 카르보닐 성분들의 대부분이 99% 이상 체내에 잔류할 수 있다는 것을 확인하였다.

Abstract : In order to learn the emission characteristics of hazardous pollutants associated with environmental tobacco smoking (ETS), we measured the concentrations of major aromatic VOC and carbonyl compounds released from ETS. By acquiring the different smoke types of ETS, we were able to determine that the concentrations of those species range from ppb (normal exhaled air of smoker prior to smoking) to ppm levels (direct release of ETS without filter). Using these measurement data, we also evaluated the body-retaining rate of these compounds as the result of ETS. The results of our analysis indicated that predominant portion of them (e.g., > 99%) are retained as the result of cigarette smoking. To learn more about the potential impact of ETS, more extensive study may be required to assess the gross picture of pollutant deposition inside respiratory intake and their health-effects.

★ Corresponding author

Phone : +82+(0)2-3408-3233 Fax : +82+(0)2-499-2354

E-mail : khkim@sejong.ac.kr

Key words : ETS, aromatic VOC, aldehydes, body deposition

1. 서 론

일반적으로 흡연의 피해를 강조하기 위해, 보건학적 또는 의학적으로 흡연과 연계된 건강장애를 강조하는 제도방식이 빈번하게 활용되는 것을 발견할 수 있다.^{1,2} 흡연과 관련된 무수한 연구결과가 발표되었고, 인터넷 등을 통해 쉽게 그런 정보들을 접할 수 있는 상황이 되었다. 예를 들어, 폐암의 발생양상, 발생을 변화, 발생확률 등과 같은 보건통계학적 자료 또는 이러한 질병의 발생 특성을 묘사하는 사진자료 등을 이용하여 순수하게 보건학적 관점을 중심으로 금연을 위한 계몽운동이 오랜 기간에 걸쳐 이루어졌다.^{3,4} 이처럼 담배흡연에 따른 문제점들과의 연계성을 규명하기 위하여, 접근하는 보건학적 관점의 연구들이 중요한 부분을 차지한다. 그런데, 또 다른 각도에서 보면, 흡연과 관련된 독성물질들이 실제로 건강장애를 일으킨다면, 얼마만큼 유해한 물질들이 체내로 유입되기 때문인가? 라는 측면의 독성학적 관점에서의 접근도 중요한 의미를 지닌다. 전자가 결과적인 면에 대해 비중을 크게 둔다면, 후자는 원인적인 면에서 보다 더 큰 관점을 두었다고 할 수 있을 것이다.

최근 실내공기오염의 심각성이 대두되면서 실내공기질을 결정하는 중요한 오염원이며, 흡연자뿐만 아니라 비흡연자에게도 간접흡연을 야기하여 건강에 악영향을 미치는 담배연기에 대한 사회적인 관심이 증가하고 있다.⁵ 이와 같은 분위기의 조성에도 불구하고, 우리나라는 국제적으로 가장 흡연율이 높은 국가의 하나로 지목되고 있다. 아마도 이제는 많은 흡연자들이 흡연과 관련된 많은 유형의 피해에 대한 심각성을 인정하면서도, 앞서 언급한 보건학적 정보를 무시하는 것과 같은 경향이 상당 수준 팽배한 것으로 사료된다. 이러한 문제를 개선하기 위해서는 모든 제반 문제점들을 종합적으로 접근할 수 있는 방법들이 강구되어야 할 것으로 보인다. 그러나 담배연기는 입자상 및 가스상으로 구성된 복잡한 화학물질이며 흡연 시 온도와 수소이온농도, 희석 정도, 산소농도 등에 따라 변화하는 속성이 있어 정량 평가가 매우 어렵다.⁶ 그렇기 때문에 담배연기 성분 분석과 함께 그 노출 정도가 정확하게 측정되어야 하지

만 아직까지 특정한 유해물질들이 흡연을 통해 얼마만큼 체내에 유입되는 가 등에 대한 정보는 상대적으로 발견하기가 쉽지 않다.^{7,8} 본 연구진은 흡연에 의해 인체로 유입되는 유해물질들의 양 또는 수준을 정량적으로 제시하고자 하였다. 이를 위해, 담배에 함유된 유해한 성분들 중에서 중요한 실내오염물질로 간주되는 벤젠, 톨루엔을 위시한 방향족 VOC와 포름알데하이드, 아세트알데하이드를 위시한 카보닐계열의 VOC들을 주 분석 대상으로 설정하였다. 따라서 본문에서는 흡연과 관련된 독성성분들의 체내 잔류율 등의 특성을 이들 성분들을 중심으로 비교 분석하고자 하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 Table 1에 제시된 바와 같이, 흡연과 관련된 성분들 중 방향족 및 카보닐 계열의 10 여가지 VOC 성분들을 주 분석 대상으로 설정하였다. 담배연기에 함유된 모든 분석 대상 성분들은 Tedlar bag과 같은 용기방식으로 채취하였다. 그러나 분석방식은 성분별로 뚜렷하게 구분이 된다. 상대적으로 분자량이 큰 방향족 VOC 성분들은 FID를 장착한 일반적인 GC 분석법을 사용하였고, 가벼운 카보닐 계열의 성분들은 HPLC/UV 방법을 이용하였다.

Table 1. A list of pollutants investigated in this study

Short Name	Molec. Mass	Formula	Name
TVOC	12	C	Total VOC
B	78	C ₆ H ₆	Benzene
T	92	C ₇ H ₈	Toluene
E	106	C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene
MPX	106	C ₈ H ₁₀	m, p-Xylene
OX	106	C ₈ H ₁₀	o-Xylene
FA	30	HCHO	formaldehyde
AA	44	CH ₃ CHO	acetaldehyde
ACT	58	CH ₃ COCH ₃	acetone
PA	58	C ₃ H ₆ O	propionaldehyde
BA	72	C ₄ H ₈ O	butyraldehyde

2.1. 시료의 채취

흡연의 폐해를 다양한 각도에서 연구하기 위하여, 본 연구에서는 가장 보편적으로 이용되는 디스 브랜드의 담배를 주 실험 대상으로 이용하였다. 그리고 이로부터 발생하는 흡연시료를 주로 다음 5 가지 유형으로 분류하여 채취하였다.

2.1.1. SS (Sidestream Smoke)

흡연시 담배 끝에서 흘러 나오는 담배연기를 바로 채취한 시료 (주로 흡연자의 주변 사람들에게 곧바로 노출되는 담배연기: 소위 간접흡연 또는 부류연이라 칭 함).

2.1.2. EBS (Exhalation Before Smoke)

흡연자가 흡연하기 전에 날숨의 형태로 입 밖으로 불어내는 공기. 직접적으로 흡연과 연계되지 않은 호흡시의 공기.

2.1.3. EMS (Exhaled Mainstream Smoke)

흡연자가 흡연시에 담배연기를 들숨의 형태로 체내로 들이킨다. 그리고 곧바로 날숨의 형태로 입 밖으로 (어느 정도 정화가 된) 담배연기를 뱉어내게 된다. 이 날숨형태의 담배연기를 입으로부터 곧바로 채취한 시료 (직접흡연 또는 주류연으로 분류됨).

2.1.4. IMS (Inhaled Mainstream Smoke)

필터를 통과한 담배연기가 흡연자의 체내로 들숨의 형태로 유입된다. 실제 이처럼 인체로 유입되는 시료를 채취하기 위해, 필터가 장착된 담배의 끝에 튜빙을 부착하여 연기시료를 곧바로 채취함.

2.1.5. SS-R (Sidestream Raw)

간접흡연의 형식으로 담배연기를 100% 호흡하였을 경우를 가상적으로 구현하기 위해, 필터를 제거한 상태에서 담배의 끝에 튜빙을 부착하여 연기시료를 바로 채취함.

시료의 채취는 소형 진공펌프를 통해 직접 채취를 시도할 경우, 펌프내부의 오염이 우려되므로 간접채취 방식을 활용하였다. 이를 위해, Tedlar bag을 두 개의 홀이 있는 외장형 진공생성 용기내부에 담고, 한쪽 홀에 Tedlar bag의 주입부를 연결하고, 반대쪽 용기 외부 홀에는 감압용 펌프를 연결한다. 펌프를 작동시키면 진공용기 안이 감압되고, 그 다음, Tedlar bag 내부로 담배연기가 유입될 수 있게 밸브를 열어 주는 방식으로 흡연시료를 채취하였다.

2.2. 시료의 분석

채취된 시료는 곧바로 분석하는 것을 원칙으로 하였다.

그러나 백에 채취된 시료가 워낙 고농도인 점을 감안하여, GC를 이용한 흡연성분의 분석은 N₂ 가스를 이용하여 1/1,000 수준으로 희석한 후 시도하였다. 방향족 VOC 성분의 분석은 본 연구진이 선행연구에서 활용한 것과 같이 GC-FID (Model DS 6200, Donam Instrument, Korea)와 열탈착 전용기 (Markes International Ltd., UK)를 조합한 극미량 분석채취시스템을 활용하였다.⁹ 테들러 백에 담긴 희석 시료는 전술한 열탈착 전용기 내부에 장착된 흡입펌프와 MFC (mass flow controller)를 통해 일정한 유량 (80 mL/min)으로 5 분 정도 열탈착 전용기 내부로 주입시켰다 (총 분석 유량은 400 mL 수준). 주입된 시료는 펠티어 쿨러에 의해 -10 ℃로 유지되는 조건에서 cold trap을 통해 저온농축 (cryo-focusing) 시켰다. 이렇게 농축된 시료는 열탈착 과정 (320 ℃에서 10 분간)을 거친 후, GC column (DB-VRX, 60 m × 0.32 mm × 1.8 μm, SGE사 제조) 으로 주입시켜 최종적인 성분 분석을 수행하였다. 이때 GC의 oven 조건은 초기온도 50 ℃에서 5 분간 유지한 후 6 ℃/min으로 230 ℃까지 가열시켜 최종온도에서 5 분 동안 유지하도록 하였다. GC 분석을 위한 가스는 다음의 조건으로 사용하였다: H₂ = 30; N₂ (Makeup gas) = 30; Air = 300 mL/min.

본 연구에서 방향족 성분들의 검량은 gravimetric 방식으로 준비한 표준 시료 (EPA Volatile Organic Compounds Mix2, SUPELCO)를 기화시킨 후 작업용 표준가스로 사용하였다. 작업용 표준가스의 제조방법은 다음과 같다. 200 ng으로 준비된 표준 시료를 1 L 불투명 테플론 플라스크에 일정량 주입하여 밀봉한 후 60 ℃에서 30분 가량 유지하여 시료가 기화되도록 하였다. 기화된 표준가스를 다시 Tedlar bag에 일정량 주입하고 N₂가스로 희석하여 작업용 표준가스를 만든다. 이렇게 만들어진 표준가스를 주입량을 다르게 하여 3개 농도 (10, 20, 40 ng) 대에서 반복적으로 주입시키고 분석하여, 검량선을 확보하였다. 이와 같은 반복분석의 결과로부터 상대표준오차를 산출하면, 정밀도는 약 9% 이하를 유지하는 것으로 나타났다. 본 분석시스템의 정확도는 TO-14 표준가스 등을 이용하여 비교 분석한 결과, 5% 내외로 확인되었다. 절대량을 기준으로 할 때, 본 연구에 활용된 GC-FID 시스템은 benzene을 기준으로 대략 0.1 ng 수준의 검출한계를 유지하였다. 본 논문에서 제시된 TVOC의 농도는 GC/FID에서 검출된 모든 VOC 성분 중 개별적으로 정성이 가능한 성분은 각각 개별 성분으로 정량을 하고, 나머지 성분은 모두 toluene 검

량선으로 정량하여 합한 값이다.

흡연시료 중 저분자량인 카보닐 계열의 성분들을 분석하기 위하여, 본 연구진의 선행연구방식을 적용하였다.¹⁰ Carbonyl-DNPH (MIX 1 Catalog NO. 47649-U, SUPELCO)의 원액을 희석하여 표준혼합용액으로 사용하였다. 흡연시료의 분석은 1차적으로 Tedlar bag에 채취한 내용물을 1/10배 희석시키고, 2차적으로 2,4-DNPH 카트리지에 이들을 통과시키는 방식으로 상온 농축하였다. 그리고 이들을 70% acetonitrile 용액 5 mL로 용출한 후, 25 cm × 4.6 mm 역상 컬럼 Hichrom 5 C18이 장착된 HPLC/UV (lab alliance, Model 500) 방법으로 분석하였다. 이동상의 조건은 1 mL/min으로 고정된 조건에서 360 nm 파장대에서 검출이 이루어졌다. 알데하이드 성분의 검출에 사용된 UV 방식은 감도가 10⁻¹⁰ g/mL로 다른 분석방법에 비해 높은 편이다. 또한 시료에 대한 선택성이 강하고, 기울기 용리의 적용이 가능한 특성을 가지고 있다. 본 분석방식은 검출이 이루어진 대부분의 알데하이드 화합물들을 20 pg 내외에서 검출하였다. 대략 500 mL 정도를 분석한다고 할 경우, 5 ppb 내외의 검출한계를 보였다. 그리고 동일 시료를 3회 이상 반복 분석할 경우, 2% 내외의 정밀도를 보이는 것으로 나타났다.

3. 결과 및 토론

3.1. 담배연기 중의 농도 수준

Table 2에는 위에 제시한 다섯 가지 형태의 시료에 대한 분석결과를 $\mu\text{g m}^{-3}$ 단위로 제시하였다. 실험의 결

과는 예상과 같이, 전반적으로 모든 분석결과들에서 거의 일관성있게 SS-R > IMS > SS > EMS > EBS의 순서로 농도 크기가 유지되는 것으로 나타났다. 그러나 일부 방향족 성분들 (에틸벤젠이나 자일렌 류)의 경우, SS-R 보다 IMS에서 큰 농도가 나타나는 경우도 발견되었다. 본 연구의 경우, 진공상태로 흡연시료를 채취하기 때문에 SS-R 또는 IMS의 채취유속이나 유량을 정확하게 동일한 수준으로 유지하기는 어려웠다. 따라서 이와 같은 결과는 시료의 채취나 분석의 불확실성 등에 의한 가능성 또는 상대적으로 고분자량의 화합물에서 필터의 제거 효과가 크지 않은 영향과 같은 요인들이 반영된 것으로 보인다.

Table 2의 IMS 결과에 의하면, 벤젠의 경우 필터를 제거하고 피는 상황이라면 (또는 부류연의 효과가 100% 발휘된다면), 흡연시 약 214 ppm의 고농도에 노출된다고 볼 수 있다. 흡연을 통해 체내로 유입되는 오염물질의 농도를 추정하기에는 IMS가 가장 적절한 기준으로 사료된다. 따라서 필터가 부착된 담배를 흡연하므로써, 그보다 30% 정도가 경감된 153 ppm 수준의 벤젠을 체내로 유입시키는 결과가 된다. 영국에서는 우리가 호흡하는 일반 공기 중의 벤젠 농도 규제기준을 5 ppb 수준으로 제시하고 있다. 따라서 또 다른 각도에서 보면, 담배 흡연시에 벤젠의 유입 농도 기준으로 약 30,000배 정도 나쁜 공기를 호흡하는 것과 비교가 된다.

본 분석 결과는 주류연과 부류연의 효과를 어느 정도 비교하는 것도 가능하다. Table 2에 제시된 EMS와 SS로 제시된 값들을 이용하여, Table 3에 제시한 바와 같이 양자간의 비값을 구할 수 있다. 그 비교 결과에 의하면,

Table 2. A statistical summary of ETS pollutants concentrations measured at various stage of smoking*

Definition^	TVOC	B	T	E	MPX	OX	FA	AA	ACT	PA	BA
Mass-to-volume concentration (mg/m ³)											
SS	387191	24074	32982	4908	5468	2058	70	32301	857	2167	678
BS	9038	684	435	262	188	73	83	77	625	68	14
EMS	17775	4128	1896	1047	479	263	289	6763	2884	547	545
IMS	4342411	490079	526685	322564	150485	54412	20432	1121335	32599	92354	56798
SS-R	4605028	686192	626787	312779	138823	47071	32561	1481898	35649	124272	82180

* Only short names are used for all pollutants investigated; refer to Table 1 for their full name information.

^ SS=sidestream smoke; EBS=exhaled before smoking; EMS=Exhaled mainstream smoking; IMS=Inhaled mainstream smoking; SS-R=sidestream smoke-Raw (without filter).

Table 3. The ratio of SS/EMS and the amount of pollutants retained in the body by smoking a cigarette: We assumed that the total intake volume of ETS is 500 mL per smoking

	TVOC	B	T	EB	MPX	OX	FA	AA	ACT	PA	BA
SS/EMS	22	6	17	5	11	8	0.24	7	0.57	8	3
TRA (μg)	2162	243	262	161	75	27	10	557	15	46	28
RP (%)	99.59	99.17	99.64	99.68	99.68	99.52	98.60	99.40	91.24	99.41	99.05
RR	247	120	281	311	317	209	72	167	11	171	105

TRA=total retained amount (mg); RP=retained percentage (%); RR=retained ratio.

BTEX류는 모두 5~17 배 정도로 확인한 차이를 보여 준다. 그러나 이에 비해 알데하이드 계열에서는 상대적으로 차이가 크지 않은 것으로 나타난다. 대체로 많은 성분들에서 큰 비 값을 보이지만, 이에 반해 포름알데하이드나 아세톤과 같은 성분들은 예외적으로 각각 1/4 배 또는 3/5 배 정도로 낮은 농도를 보인다는 점에서 구분이 된다. SS와 같은 경우, 흡연 시료를 담배로부터 얼마만큼의 거리를 유지하면서 채취하는 가와 같이 구체적인 채취방법에 따라 관측대상 성분들의 함량에 차이가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 부류연에 해당하는 SS의 시료를 불이 붙은 담배에 10여 센티미터의 거리를 두고 채취하였다. 따라서 이와 같은 농도비에 절대적인 의미를 부여하기는 어렵지만, 무거운 분자량의 BTEX 계열이 알데하이드류 보다는 부류연을 통해 상대적으로 더 많이 배출된다는 것을 유추할 수 있다.

3.2. 체내 잔류 수준에 대한 평가

Table 3에는 Table 2에 제시한 다섯 가지 형태의 시료에 대한 분석결과를 응용하여, 1 개비의 담배를 피울 때 오염물질들이 얼마만큼 체내에 잔류하는가의 수준을 추정해 보았다. 일단 이와 같은 응용을 위해, 다음과 같은 전제를 가정하였다.

3.2.1. 1 개비의 담배를 피울 때, 체내 잔류되는 오염물질의 양 (total retained amount = TRA).

흡연자 개개인의 흡연습관 등에 따라 편차가 발생하지만, 대략 500~1000 mL 정도의 담배연기를 들숨으로 들이키고 또한 그 만큼의 공기를 체외로 배출한다. 본 논문에서는 편의상 대략 500 mL 정도의 담배연기를 들숨으로 들이킨다고 가정하고, 위에서 구한 IMS와 EMS의 질량/부피 농도의 차이 ($\mu\text{g m}^{-3}$)에 흡기량 (500 mL)를 곱해 주는 방식으로 체내 잔류량을 추정할 수 있다.

$$\text{TRA} = (\text{IMS} - \text{EMS}) \times (\text{sum of total intake volume})$$

이와 같은 계산에 의하면, 1 개비의 담배를 피울 때 약 240 μg 수준의 벤젠이 체내에 잔류하게 된다는 것을 알 수 있다 (단 이렇게 잔류하는 오염물질들은 호흡을 통해 다시 체외로 배출되거나 또는 소화되므로, 완전히 체내에 100% 정착을 하는 것은 아니다).

3.2.2. 1 개비의 담배를 피울 때, 오염물질이 체내에 잔류하는 비율 (retained percentage=RP).

이와 같은 개념은 체내에 들어오는 양과 나가는 양의 비율을 비교하는데 유용한 지수이다. 실제 계산은 체내에 잔류하는 부분인 (IMS-EMS)에 대비하여, 최초로 체내에 유입되는 EMS의 비를 구하는 것과 동일하다. 구체적으로 $\{(\text{IMS}-\text{EMS}) \times 100/\text{EMS}\}$ 를 계산한다.

그 결과 벤젠은 흡연을 통해 인체로 유입된 함량의 99.17%가 일차적으로 체내에 잔류하게 된다는 것을 알 수 있다. 분석이 이루어진 10 개 성분 중, 아세톤을 제외한 모든 성분들이 99% 또는 그 이상 체내 축적이 이루어진다는 것을 알 수 있다. 결과적으로 담배에 함유된 대부분의 유해 성분들은 흡연자의 인체에 잔존하고, 비교적 깨끗하게 정화된 공기들이 날숨의 형태로 배출된다는 것을 확인할 수 있다.

3.2.3. 인체 잔류비 (RR=retained ratio).

위에서 제시한 나향의 RP를 단순히 IMS/EMS의 비를 구한 것으로 유입량/배출량의 비를 산정한 것이다. 가장 잔류율이 낮은 아세톤이 11 정도를 기록한 경우를 제외하면, 대부분의 성분들이 70~300으로 나타난다.

4. 결 론

본 연구에서는 담배흡연을 통해 발생하는 여러 가지 흡연관련 시료들을 대상으로 BTEX를 위시한 주요 방

항족 VOC 성분과 포름알데하이드와 아세트알데하이드를 위시한 주요 카르보닐 화합물들의 농도를 분석하였다. 흡연시료는 간접흡연에 해당하는 SS, 직접흡연에 해당하는 EMS, 그리고 그 외에 필터의 사용 유무에 따라 담배의 끝으로부터 배출되는 IMS, SS-R 등으로 구분하였고, 이들 개별 시료들에 대하여 주요 성분들의 농도차이와 농도비를 비교하였다. 특히 본 연구에서는 직접 들숨의 형태로 체내로 유입되는 IMS와 날숨의 형태로 체외배출 되는 EMS 간의 유실율을 토대로, 주요 유해성분들의 체내 잔류율을 추정하였다. 그 결과에 의하면, 대부분의 유해성분들은 99% 이상이 체내에 잔류하고, 1% 미만이 날숨의 형태로 체외 배출된다는 것을 확인할 수 있었다.

기존의 많은 연구를 통해, 담배 성분이 체내에 잔류하게 되므로서 여러 가지 인체에 피해를 미친다는 점이 보편적으로 받아들여지고 있다. 본 연구와 같이 체내 잔류율을 주요 관점으로 흡연과 연계된 유해성분들의 함량을 분석한 연구결과는, 흡연의 피해와 관련된 문제점을 또 다른 각도에서 확인할 수 있었다. 본 연구에서 확인된 여러 가지 사실들을 감안하면, 향후 ETS의 체내 잔류량 및 잔류특성들을 여러 가지 보건학적 측면과 연계할 수 있는 종합적인 연구의 필요성이 강하게 제기된다.

감사의 글

본 논문의 자료정리에 수고를 아끼지 않은 김유화양에게 감사드립니다. 본 연구의 일부는 2004년 ‘삼성전자(주)’의 연구지원으로 이루어졌습니다.

참고 문헌

1. R. A. Jenkins, A. Palausky, R. W. Counts, C. K. Bayne, A. B. Dindal, M. R. Guerin, *J. Exp. Anal. Environ. Epidem.*, **6**, 473(1996).
2. R. A. Jenkins, M. R. Guerin, B. A. Tomkins, "The Chemistry of Environmental Tobacco Smoke: Composition and mMeasurement" 2nd Ed., Lewis Pub., 467 (2000).
3. 백성욱, 김윤신, *한국대기보전학회지*, **14**(4), 343 (1998).
4. P. N. Lee, A. J. Thornton, *Indoor Built Environ.*, **7**,

- 129(1998).
5. 하권철, 박동욱, 윤충식, "실내환경의 환경성담배연기 중 카드뮴에 관한 연구", *분석과학회지*, **16**(4), 299-308(2003).
6. J. L. Repace, A. H. Lowery, Indoor air pollution, Tobacco smoke, and public health, *Science* 208:464 (1980).
7. J. S. Lakind, R. A. Jenkins, D. Q. Naiman, M. E. Ginevan, C. G. Graves, R. G. Tardiff, *Risk Anal.*, **19**(3), 359(1999).
8. 하권철, 백남원, 박동욱, 윤충식, 김원, 최상준, 박지영, 최인자, 김신범, 강태선, "실내사무환경의 환경성담배연기의 지표물질에 관한 연구", *한국산업위생학회지*, **13**(2), 152-159 (2003)
9. K.-H. Kim, S.-I. Oh, Y.-J. Choi, "Comparative analysis of bias in the collection of airborne pollutants: Tests on major aromatic VOC using three types of sorbent based methods", *Talanta*, **64**, 518-527 (2004).
10. 홍윤정, 김기현, "대기 중 카보닐 계열 성분의 분석 기법: 포름알데하이드와 DNPH의 반응 특성에 대한 연구", *분석과학회지*, 투고 중.