

## 환경이 조절되는 Chamber 내에서 Environmental Tobacco Smoke의 생성과 감소 현상

이문수\* · 나도염 · 안기영 · 이규서  
한국인삼연초연구원 분석부  
(1996년 10월 15일 접수)

## Generation and Decay Phenomena of Environmental Tobacco Smoke in Controlled Experimental Atmosphere Chamber

**Moon Soo Rhee\***, Do Young Ra, Key Young An and Kyu Seo Rhee  
*Division of Chemical Analysis, Korea Ginseng & Tobacco Research Institute*  
(Received Oct. 15, 1996)

**ABSTRACT** : This paper describes the generation and decay phenomena of gas, vapor and particulate phase components of environmental tobacco smoke in 18 m<sup>3</sup> controlled experimental atmosphere chamber. Real time-weighted average concentration ratios of markers were determined at no ventilation rates and sampling durations of starting to smoking 45 min. Average concentration of major ETS markers was no significant on the mainstream smoke contents of commercial cigarette and decay ratios were dependent on first order kinetic. RSP/nicotine, solanesol and 3-EP were good predictors of ETS concentration in the public indoor field. The concentration ratio of vapor phase and particulate phase components is highly variable to assessment of indoor air quality with ETS.

**Key words** : ETS, chamber study, ETS markers.

---

\* 연락처자 : 305-345, 대전 광역시 유성구 신성동 302, 한국인삼연초연구원

\* Corresponding Author : Korea Ginseng & Tobacco Research Institute, 302 Shinsong-Dong, Yuseong-Ku, Taejon 305-345, Korea

ETS (Environmental Tobacco Smoke, 환경담배연기)는 흡연에 의해서 생성된 담배 연기가 특정공간에 공여된 동적인 혼합체로 CORESTA (1990)에서는 정의하고 있으며, 이차적 흡연, 비자발적 흡연, 간접흡연 등으로 불리워지고 있다. 특히 ETS는 85% 이상이 부류연이고 흡연후 내쉬는 주류연이 약 15% 정도 포함되어 있다. 이러한 연기들은 주어진 공간내에 순간적으로 확산되어 그 실내공기에 의해 희석되고, 에이징된다. 희석배수는 ETS를 구성하는 성분에 따라서 수십배에서 수백만 배가 되는 것으로 알려져 있다 (Smith, 1992). 또한 휘발성과 구성성분들의 상전환 (Phase change)에 의해서 주류연과 부류연의 물리 화학적 특성이 크게 달라져서 주·부류연의 분석 값으로부터 ETS를 정성적 또는 정량적인 유추해석은 불가능하다는 것이 여러 연구에서 입증되고 있다 (Baker, 1990 ; Conner, 1990).

특히 ETS는 주어진 공간 내에서 응축현상과 흡착과정이 공간의 특성에 따라서 크게 변화하기 때문에 그 실체를 파악하는데 많은 어려움이 있다. 따라서 ETS 구성성분의 양적, 질적 분석 값을 얻을 때 종종 혼동된 결과가 초래되고 그 값을 해석하는데 있어서도 오류를 범할 수 있는 위험요소가 매우 많다 (Nystrom, 1986 ; Green, 1992).

이러한 이유에서 ETS 연구에서는 controlled experimental atmosphere (CEA)라 불리는 chamber 연구를 통하여 실질 실내공간에서의 ETS의 진실을 밝히려는 노력이 있었는데, Eatough(1989)는 30 m<sup>3</sup>의 넓이의 테프론 bag을 사용하여 ETS의 증기상과 입자상 물질의 분포조성을 연구하였고, Thompson (1989)등은 stainless steel을 이용하여 18 m<sup>3</sup> 크기의 chamber에서 ETS의 여러 특성을 밝힌 바 있다. 이러한 CEA는 대기의 다른 오염원을 배제시킬 수 있는 장점이 있으며 또한 환기량, 습도, 온도 그리고 각 ETS 성분들을 모니터링 하는데 효과적일 수 있기 때문에 ETS의 물리 화학적 변화를 측정하는데 효과적이다.

이 연구에서는 미국 RJR사의 Bowman Gray Technical Center의 CEA를 이용하여 1R4F 담배와

우리 나라 제품담배를 선정하여 흡연한 후 각각의 담배에서 ETS의 주요 marker 성분들의 발생량과 그들의 상대적 분포비 그리고 시간에 따른 decay 현상을 파악하여 field에서 측정된 ETS의 양적 관계와 실내 공기의 질적인 상관 관계를 해석하는데 기본적인 자료를 얻는데 목적을 두었다.

## 재료 및 방법

### 1. 시 료

본 실험에 사용된 시료 담배의 물리적 특성과 연기 성분 이행량은 Table 1과 같은 담배를 선정하여 사용하였다. 여기에서 꾀초 길이는 우리나라 흡연자들의 흡연습관을 참조하여 결정하였다.

### 2. ETS의 발생

본 실험에 사용된 CEA는 크기가 18m<sup>3</sup>이고 벽의 재질은 스테인레스이며 온도, 습도, 배기량의 조절이 가능한 것이었다. 그러나 본 실험에서는 온도와 습도를 각각 22℃와 50%로 고정하고 환기량은 ACH (Air change per hour)가 0인 static condition에서 4명의 흡연자가 chamber 내에서 8분 동안 각각 1개피의 담배를 피운 후 45분 동안 분석을 진행하였다. 자동흡연장치에 의한 smoking은 4-channel의 smoking machine (Heinr. Borgwaldt, Germany) 으로 연소시킨 후 앞의 방법과 동일하게 분석하였다.

### 3. 기체상 물질의 측정

일산화탄소, 휘발성 유기화합물, 그리고 산화질소의 분석은 10초 간격으로 모니터링 할 수 있도록 IBM PCAT running ASYST 소프트웨어를 사용하였다. 이때 CO 분석기는 Thermo Electron model 48 gas filtration 분석기(USA), 산화질소 분석기는 NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>을 동시에 측정할 수 있는 Monitor Labs model 8840 nitrogen oxides 분석기(미국)를 사용하였고, 휘발성 유기화합물은 Combustion Engineering 8401 total hydrocarbon analyzer를, 입자상물질의 number 농도와 mass 농도는 TSI model 3020

condensation nucleus counter와 TSI model 5000 automatic piezobalance 을 각각 이용하였다.

#### 4. 증기상 성분의 측정

ETS 중 증기상 성분의 marker 성분으로 분류할 수 있는 nicotine과 3-ethenyl pyridine(3-EP) 그리고 myosmine 은 Ogden(1989)의 방법에 따라 Amberlite XAD-4 resin관 (SKC, 7cm×6mm O.D, 20/40mesh)에 공기를 1.5ℓ/min의 유속으로 personal air sampling pump (SKC, 224 PCXR8) 로 포집하였다. XAD-4관에 흡착된 증기상 성분의 추출은 2ml vial에 XAD-4 resin을 조심스럽게 옮기고 triethylamine 이 0.01%함유된 ethyl acetate 1ml을 가하여 진탕기에서 30분 동안 추출한 후 GC/NPD 분석용 시료로 하였다. 이때 내부 표준물질로는 quinoline 을 사용하였고 각 성분의 표준용액에 대한 검량선의 coefficient는 nicotine, 3-EP 그리고 myosmine 이 각각 1, 1, 0.99999로 양호하였다.

이때의 GC/NPD 분석조건으로서는, 칼럼은 SPB-5 용융실리카 칼럼 (30m×0.32mm id)이었고 운반기체는 헬륨으로 4ml/min의 유속이었다. 오븐온도는 50℃에서 250℃까지 10℃/min로 programming하였다. 검지기는 NPD(nitrogen phosphorous detector)로서 온도는 300℃, 주입구 온도는 250℃로 설정하였다. Splitter는 splitless mode로 조절하였다.

#### 5. 입자상 물질의 측정

EIS중 입자상 물질의 marker 성분으로 분류할 수 있는 RSP(respirable suspended particulate), UVPM (ultraviolet particulate matter), FPM (fluorescent particulate matter), 그리고 solanesol을 측정하기 위해서는 Ogden (1994)의 방법에 따랐다. 즉 입자상 물질의 포집은 fluoropore membrane filter (Millipore FALP 03700, pore size 1.0μm, 37mm i.d.)에 증기상 성분분석에서와 같은 pump를 이용하여 사이크론이 연결된 cassette에 membrane filter을 넣고 3.25ℓ/min의 유속으로 포집하였다. 입자상물질을 포집하기 전후의 membrane filter 무게 차이로 RSP 함량 값을 얻은 다음, 4ml methanol을 가하고 30분

동안 진탕기에서 추출하여 HPLC 분석용 시료로 하였다.

정량분석을 위해 UVPM에 대한 표준물질로 2, 2', 4, 4'-tetrahydroxybenzophenone 과 FPM에 대해서는 scopoletine을 surrogate standard로 각각 사용하였다. 각 성분에서 표준용액의 검량선에 대한 coefficient는 각각 0.9997, 0.9993으로 나타났다.

Table 1. Description of cigarettes for controlled environmental chamber study

Cigarette	Hanaro	88 Gold	Kentucky Reference 1R4F
Cigarette length (mm)	100	84	84
Butt "	48	40	40
Smoking "	52	44	44
Filter	C.A.*	C.A.	C.A.
Air dilution (%)	51	38	28
Tar (mg/cig.)	5.9	9.3	9.2
Nicotine "	0.58	0.94	0.80
CO "	7.5	10.9	11.6

C.A. : Cellulose acetate.

Butt length : Index from Korean smoking habit.

HPLC 분석조건에서 solanesol은 Deltabond ODS 칼럼(15cm x 4.6mm i.d.)이었고, UVPM과 FPM은 columnless이었다. Mobile phase는 95% acetonitrile과 5% methanol 혼합용매이었다. Flow rate는 0.4ml/min (UVPM, FPM), 0.5ml/min (solanesol)로 각각 조절하였다. Detector는 UV detector로 205nm (solanesol), 325nm (UVPM)에서 각각 흡수 분광도 값으로 측정하였고 FPM은 fluorescence detector로 excitation 300nm, emission 420nm의 파장에서 각각 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 증기상 성분들의 농도

Table 1의 제원을 갖는 세 가지 제품담배 (하나

로, 88골드, 1R4F)를 4명의 흡연자가 18m<sup>3</sup>의 체적을 갖고 있는 CEA 내에서 흡연하였을 때 발생된 ETS 성분중 주요 marker들의 농도를 Table 2에 수록하였다. 이 분석 값은 각 성분에 대하여 시간에 따른 평균농도로 환산하여 표시한 것이다. Table 2에서 보면 nicotine은 25.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ~ 33.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  범위에 있었고, 3-EP은 22.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ~ 26.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  범위의 농도를 보였다. Myosmine은 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도의 농도를 보여 매우 낮은 값이었는데 이 값은 nicotine과 비교하여 보면 약 6~7% 범위의 농도이었다.

시료 담배에 따른 증기상 성분들의 농도 수준은 제품에 따라서 차이를 발견할 수 있었는데 nicotine의 경우에는 1R4F가 가장 높았고 88Gold의 경우에는 낮은 값을 보였다. 이러한 농도 차이는 표 1에서 제시한 시료담배의 주류연의 nicotine 함량과 관련해서 살펴보면 잘 일치하지 않는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 ETS를 구성하는 주·부류연의 함량비가 문헌(Ogden, 1994)에 따르면 15:85인 점을 감안하면 쉽게 설명되고 있다.

또한 하나로 담배의 경우에 흡연자에 의해서 생성된 ETS 증기상 성분과 자동흡연장치에 의해서 생성된 값을 비교해 보면 nicotine의 경우에는 40.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 약 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도 높았다. 그러나 3-EP과 myosmine의 경우는 차이가 크지 않았다. 이러한 현상은 증기상 성분들의 물리 화학적 특성에 기인하는 것으로 생각된다.

즉 nicotine은 부류연과 주류연의 함량비가 2.6 ~ 3.3 범위에 있고 3-EP은 20~40배 정도로 부류연의 함량비가 높다 (Guerin, 1992). 또한 Nelson(1992)에 의하면 nicotine은 다른 ETS marker 성분들보다 시간에 따른 감소율이 높은 것으로 보고되었는데 이 현상은 nicotine이 주위의 표면에 흡착 현상이 높고 사람들의 옷에 매우 빠르게 흡착되는 특성으로 설명하고 있다. 또한 그는 사람의 옷에 흡착된 잔류 nicotine의 농도를 측정하여 이 현상을 실험적으로 증명하기도 하였다. 따라서 ETS의 또다른 문제점의 하나인 ETS odor에 관해서 고찰해 보면, 흡연자로부터 유출되는 담배 냄새의 근간이 흡연자들의 옷에 흡착된 nicotine의 냄새에 기인하

Table 2. Average concentration of selected vapor markers in the ETS of Hanaro, 88 Gold and 1R4F ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Analyte	Generation type of ETS			
	4 persons smoking			Smoking machine Hanaro (4 cig.)
	Hanaro	88 Gold	1R4F	
3-Ethenyl pyridine	22.0	24.6	26.5	26.4
Nicotine	27.9	25.2	33.8	40.7
Myosmine	2.0	1.7	2.2	2.4

는 것으로 생각할 수도 있다.

## 2. 입자상 성분들의 농도

증기상 성분들의 측정 방법과 같은 방법에 의해서 생성된 ETS 중 입자상 성분들의 농도 수준은 Table 3에 수록하였다. 이 표에서 알 수 있듯이 입자상 성분들중 RSP를 구성하는 성분들중 UVPM 이 730.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ~ 774.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 농도가 높았고 그 다음은 FPM으로 555 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ~ 568.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  범위이었고, 최근에 ETS 입자상 성분의 주요 marker로서 분류할 수 있는 solanesol(Ogden, 1992)은 17.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ~ 21.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

또한 제품에 따른 농도 차이는 증기상 성분들의 결과에서와 같이 주류연의 tar 함량과는 상관성이 거의 없는 것을 알 수 있다. 그러나 흡연의 방법에 따라서는 큰 차이를 발견할 수 있는데 흡연자의 흡연에 의해서 보다 smoking machine에 의해서 ETS를 발생시켰을 때에는 UVPM, FPM 그리고 solanesol의 생성된 농도가 17% ~ 36% 범위로 낮게 나타났다. 이러한 현상은 전형적인 입자상 물질의 물리적 특성으로 설명할 수 있는데 이것은 cambridge filter에 의한 여과 결과로 나타난 것으로 생각된다.

Repace(1980)에 의해서 이러한 입자상 성분들과 ETS의 상관성에 대해서 연구되었는데 입자상 물질들은 입자의 직경이 2.5 $\mu\text{m}$  보다 적은 것은 의미

한다. 대체적으로 field에서 측정되는 입자상 부유 분진들은 고체상 또는 액체상 성분들을 모두 포함하고 있으며, ETS 입자상 물질들은 직경이  $1.0\mu\text{m}$  보다 적은 입자들로서 wax나 액체를 주로 함유하고 있는 것으로 알려져 있다 (Stober, 1992).

Ogden(1990)에 의하면 ETS의 RSP(Respirable Suspended Particulate)는 UVPM이 63%, FPM이 51% 그리고 solanesol이 26% 정도가 각각 포함되어 있는 것으로 보고되었는데 이때 solanesol/RSP 무게 비가 2.6이라고 하였다. 이 연구에서도 2.3% ~ 2.8%로 분석되었다. 그러나 smoking machine에 의한 흡연에서는 이 값보다 낮은 1.4%로 분석되었다. 또한 증기상 성분중의 RSP와 nicotine의 함량 비율은 1R4F 담배가 RSP/nicotine 22.1, 하나로가 27.4,

88 폴드가 31.1이었으며 smoking machine에 의해서 는 하나로가 6.7로 나타났다. 이러한 결과는 RJR 사(1988)의 18.4보다는 약간 높은 경향이였다. RSP/nicotine 비는 제품담배의 특성에 따라서 크게 영향을 받으며, 공공장소에서는 환기량에 따른 영향이 크고 외부공기의 질적수준에 의해서도 영향을 받는 것으로 보고된 바 있다(Nelson, 1992). 또한 sampling 시간 그리고 흡연의 강도에 따라서 차이를 보이는데 일반적으로 환기량이 증가하면 RSP/nicotine의 비는 높아진다. 이러한 현상은 상대적인 decay process의 차이에서 기인된다. 즉 nicotine은 다른 ETS 구성성분보다도 표면 흡착이 잘 일어나기 때문이다.

Table 3. Average concentration of selected particulated matter markers in the ETS of Hanaro, 88 Gold and 1R4F ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Analyte	Generation type of ETS			
	4 persons smoking			Smoking machine, Hanaro (4 cig.)
	Hanaro	88 Gold	1R4F	
UVPM	750.8	774.6	730.3	273.3
FPM	562.7	568.2	555.5	193.1
Solanesol	21.8	17.9	20.3	3.7
RSP	765.6	782.4	748.7	271.5

### 3. ETS marker들의 decay ratio

ETS의 가스상 물질인 CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 그리고 입자상 물질인 RSP와 total hydrocarbon(THC)에 대해서 ETS 발생후 시간에 따른 각 성분들의 농도 변화와 그 변화율을 Table 4에 수록하였다. 또한 주요 성분들의 변화 곡선을 얻어 Fig. 1에는 THC, Fig. 2에는 RSP, Fig. 3, 4에는 NO와 NO<sub>2</sub> 그리고 Fig. 5에는 일산화탄소를 표시하였다.

이 표와 그림들을 종합해서 살펴보면 real-time에서 측정된 각각 ETS 성분들의 변화율은 시간이 경과함에 따라 농도가 거의 일정하게 감소하는 first-order kinetic을 따랐다. 각 시료에서 ETS 성분의 농도와 농도 변화는 거의 유사한 경향이였으

Table 4. Concentrations and decay ratio of ETS constituents by real time

Analyte	Hanaro			88 Gold			1R4F		
	Max conc.*	Min conc.	Decay ratio(%)	Max conc.	Min conc.	Decay ratio(%)	Max conc.	Min conc.	Decay ratio(%)
CO(ppm)	5	4	31	4	2	35	5	4	33
NO(ppm)	125	72	42	141	85	40	120	66	45
NO <sub>2</sub> (ppm)	36	31	13	34	26	25	34	29	16
NO <sub>x</sub> (ppm)	157	103	35	168	11	34	151	95	37
RSP( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1306	49	50	1193	632	47	1261	639	49
THC(ppm)	2	1	22	1	1	17	2	1	22

\* conc. : Concentration.

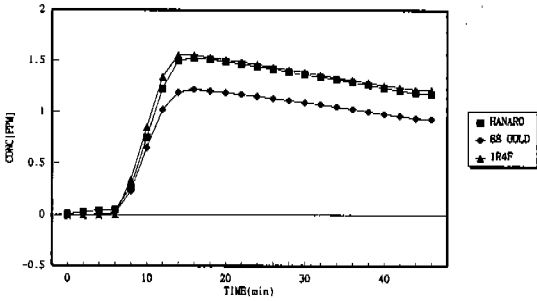


Fig. 1. The decay curve of total hydrocarbon

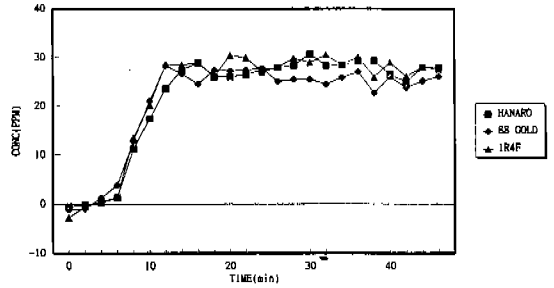


Fig. 4. The decay curve of NO<sub>2</sub>

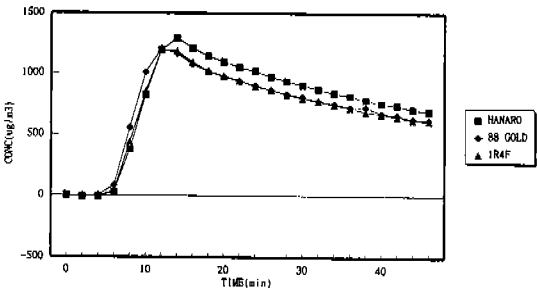


Fig. 2. The decay curve of respirable suspended particulate

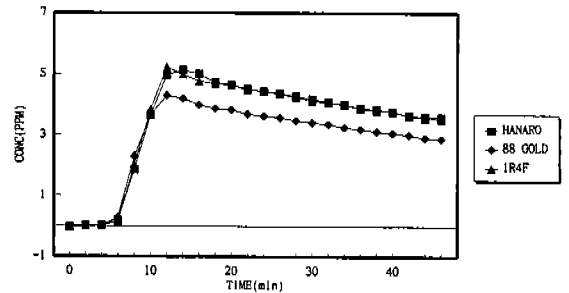


Fig. 5. The decay curve of CO

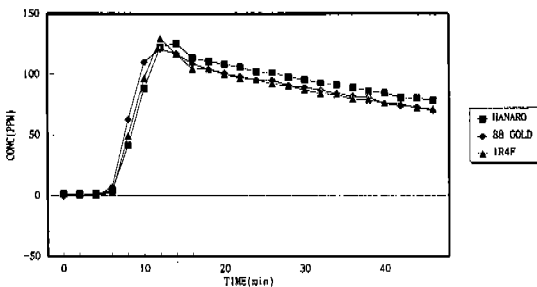


Fig. 3. The decay curve of NO

나 88골드의 경우 CO와 THC에서 약간 낮았고 NO와 NO<sub>x</sub>의 농도는 높은 것으로 나타났지만 그 차이는 크지 않았다. RSP의 경우는 하나로서 많

이 발생됨을 보여준다. ETS 성분들의 농도는 흡연을 시작한후 6~8분대에서 최고치에 달했고 9분대에서 감소되기 시작하여 실험이 끝나는 45분에 최저치를 보여주었다. NO<sub>2</sub>와 THC는 천천히 감소되었고 나머지 성분들의 감소속도는 매우 빠른 것으로 나타났다. 특히 NO<sub>2</sub>의 감소율이 낮은 이유는 NO의 자동산화에 의한 NO<sub>2</sub>의 생성에 기인한 것으로 보여진다. ETS가 발생된후 환기가 전혀 되지 않는 상태에서도 45분이 경과되면 일산화탄소는 30% 이상, NO<sub>x</sub>는 35% 정도, 그리고 RSP는 50% 정도가 각각 감소되는 것을 알 수가 있었다.

이러한 감소 현상과 감소율은 Nelson(1993)의 결과와 일치하는 결과로서 향후 ETS 농도에 따른 최적 환기량의 산출 연구에 기본적으로 응용될 수 있을 것이다.

## 결 론

환경 조건이 조절되는 18m<sup>3</sup>의 CEA chamber에서 제품담배를 흡연자의 흡연에 의해서 ETS를 발생시켜 기체상, 증기상 그리고 입자상들의 화학성분 생성 농도를 조사하고 그들의 시간에 따른 감소 현상에 대해서 연구하였다.

각 제품담배의 ETS 생성량은 주류연의 연기 성분 함량과 상관이 없었다. 그러나 지표 성분들의 상대적인 분포 비율은 유사하였으며 이들 성분의 시간에 따른 농도 감소현상은 전형적인 first-order kinetic에 따랐다. 이들 성분들의 상대적인 분포비와 주요 ETS 지표 성분들의 절대적 함량은 주요 공공장소에서의 ETS 농도와 실내 공기의 질적 수준을 판정할 수 있는 기본적인 자료로 이용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Baker, R.R. and C.J. Proctor (1990). The origins and properties of environmental tobacco smoke, *Environ. Int.*, 16 : 231~245.
2. Conner, J.M., G.B., III Oldaker and J.J. Murphy (1990). Method for assessing the contribution of environmental tobacco smoke to respirable suspended particles in indoor environments, *Environ. Technol.*, 11 : 189~196.
3. CORESTA Recommended Method No. 14 (1990). Determination of nicotine in environmental tobacco smoke by gas chromatography analysis.
4. Eatough, D.B., Benner, C.J., Bayona, J.M., Richards, G., Lamb, J.D., Lee, M.L., Lewis, E.A., and Hansen, L.D. (1989). Chemical composition of environmental tobacco smoke. 1, Gas-phase acids and bases. *Environ. Sci. Technol.*, 23, 679~687.
5. Green, C.R. (1992). CORESTA ETS task force meeting, Personal communication, Swiss.
6. Guerin, M.R., Jenkins, R.A., and Tomkins, B.A. (1992). The chemistry of environmental tobacco smoke: Composition and measurement, Lewis Publisher, Boca Raton, USA, 53~55.
7. Nelson, P.R., Heavner, D.L., Collie, B.B., Maiolo, K.C., and Ogden, M.W., (1992). Effect of ventilation and sampling time on environmental tobacco smoke component ratios, *Environ. Sci. Technol.*, 26(10), 1909~1915.
8. Nelson, P.R., Sears, S.B., and Heavner, D.L., (1993). Application of method for evaluation air cleaner performance, *Indoor Environ.* 2, 111~117.
9. Nystrom, C. and Green, C.R. (1986). Assessing the impact environmental tobacco smoke on indoor air quality : Current status, Presentation, ASHRE Indoor Air Quality Conference, Atlanta, Georgia, USA.
10. Ogden, M.W., Eduy, L.W., Heavner, D.L., Conrad, F.W., Jr., and Green, C.R. (1989). Improved gas chromatographic determination of nicotine in environmental tobacco smoke. *Analyst*, 114: 1005~1008.
11. Ogden, M.W., and Maiolo, K.C. (1992). Comparison of GC and LC for determining solanesol in environmental tobacco smoke, *LC, GC Magazine*, 10(6) : 459~462.
12. Reynolds, R.J. (1988) Chemical and biological studies of new cigarette proto types that heat instead of burn tobacco, R.J. Reynolds Tobacco Company, Winston-Salem, N.C., 167~170.
13. Rhee, M.S. (1995). The physicochemical characterization of ETS, *J. of Kor. Soc. Tob. Sci.* 17(1), 79~97.
14. Smith, C.J., Sears, S.B., Walker, J.C. and Deluca, P.O. (1992). Environmental tobacco smoke: Current assessment and future directions, *Toxicologic Pathology*, 20(2):289~305.
15. Stober, W. (1982). Generation size distribution and composition of tobacco aerosols, *Recent Advances in Tobacco Science*, Vol. 8, 3~41.
16. Thompson, C.V., Jenkins, R.A., and Higgins, C.E. (1989). A thermal desorption method for the determination of nicotine in indoor environments. *Environ. Sci. Technol.*, 23, 429~435.