

< 총 설 >

Environmental Tobacco Smoke의 이화학적 특성

이 문 수

한국인삼연초연구원 분석부
(1995년 4월 1일 접수)

The physicochemical Characterization of ETS (Environmental Tobacco Smoke)

Moon Soo Rhee

*Division of Chemical Analysis, Korea Ginseng & Tobacco
Research Institute*

(Received April 1, 1995)

ABSTRACT : On the basis of the literature, which is at present still scientific information improvable, the results of research done so far into the occurrence and analytical methodology of major markers of environmental tobacco smoke(ETS) have been summarized. Key areas addressed are : differences in physicochemical composition between mainstream smoke, side-stream smoke and ETS : techniques for field measurement of ETS : relationship between indoor air quality with ETS and its distribution : view of US EPA and its problems : biological effects and concerning estimation of ETS exposure.

Key words : Tobacco Smoke, ETS, Chemical measurement, Indoor air quality with ETS.

1992년 12월에 미국의 환경보호청(US, Environmental Protection Agency, EPA)에서는 간접흡연이 호흡기 건강에 미치는 영향-폐암과 질환-보고서(EPA/600/690/006, 1992)를 발간하였는데 여기에서 Environmental tobacco smoke(ETS)를 "Carcinogen

A Group"으로 분류하였다.(이러한 분류는 발암성의 정도에 따라서 EPA는 다섯가지 등급으로 분류하며, A는 사람이나 동물에 암을 일으키는 물질로 확인된것을 의미한다)(EPA 600/8-87/045, 1987)

이 보고서는 ETS와 관련한 보고서중 세번째에

* 연락처자 : 305-345, 대전광역시 유성구 신성동 302, 한국인삼연초연구원

* Corresponding Author : Korea Ginseng & Tobacco Reserach Institute, 302 Shinsong-dong, Yuseong-Ku, Taejon, 305-345, Korea.

해당하는 것으로 첫번째는 1990년(EPA/600/690/006 A) 두번째는 1992년 5월에 각각 발표되었다(EPA/600/690/006 B). 보고서들은 EPA산하 과학자문위원회(Science Advisory Board, EPA에 소속되지 않은 과학자들로 구성되어 있다)에서 논의되었는데 이 위원회는 ETS의 논쟁과 관계가 있는 역학조사, 분석방법, 독성학, 에어로졸 과학등에 대해 전문화된 개념을 정리하고 이를 발표 하는것에 목적을 두고 있다. 이러한 맥락에서 과학자문위원회는 1990년의 첫번째 보고서에 대해 EPA가 ETS를 "Group A Carcinogen"으로 분류하는데 반대의견을 제시하였지만 결국 1992년 12월에 발표된 세번째 보고서를 동의 하기에 이르게 된다. 이러한 결과로 미국의 담배회사 EPA를 상대로 소송을 제기했고, 그 소송의 결과는 오늘날까지 미국 재판부가 결정을 유보하고 있는 상태이며, 서로의 반대의견이 정치적 또는 과학적인 논쟁으로 점점 첨예화 되고 있다. 어찌했든 EPA에서는 이 세번째 보고서의 출판과 함께 ETS의 평가에 대한 형식적인 결론을 내리고 있는 것이다. 이와같은 ETS의 문제는 흡연자 또는 비흡연자에 있어서 초미의 관심사가 되었고, 흡연권과 혐연권에 대한 도덕적 문제를 넘어 법적인 문제로 확산되고 있는 것이다. 이러한 미국의 상황은 세계 여러나라에 영향을 미칠 것으로 예상되며 최근에는 우리나라에서도 마스크를 통해 비과학적이고 비합리적인 내용이 과장 보도되어 논쟁의 여지를 남겨두고 있는 실정이다.

이러한 논쟁에 대해 좀더 과학적이고 합리적인 정보를 제공키 위하여, 그동안 국내외에서 발표된 문헌을 중심으로 ETS의 실상을 파악하고, 간단치 않은 진실과 오류점을 해석하고, 비평을 가하여 ETS 문제에 대한 논쟁의 구체적 방향을 제시하고자 한다.

Environmental Tobacco Smoke의 개념

ETS란 "A dynamic mixture of substances present in ambient air as a specific result of tobacco smoking"이라고 CORESTA(1990)에서는 정의하고 있다. 흡연에 의해 야기된 특정 공간에서의 동적인 혼합체인 ETS는 이차적 흡연(Second Hand Smoking) 비자발적 흡연(Involuntary Smoking) 간접흡연(Pas-

sive Smoking)등으로 불리워지고 있다. ETS는 85% 이상이 부류연(Sidestream Smoke, SS)이고 흡연자가 흡연을 한 후 내쉬는 주류연(Mainstream Smoke, MS)이 약 15%가 포함되어 있다. 이 연기들은 주어진 공간내에 순간적으로 확산되어 다른 실내공기에 의해 희석되고 aging된다. 희석배수는 성분에 따라서 차이가 있지만 표 1에서 보는바와 같이 수십배에서 수백만배나 된다(Smith, 1992). 그러므로 ETS는 주류연과 부류연의 물리화학적 특성이 매우 달라지는데 특히 그들의 절대 농도와 상대적인 분포 그리고 그들을 구성하고 있는 입자들의 크기가 크게 변화한다. 이것은 휘발성과 ETS 구성 성분의 상전환(Phase Change) 조성에 기인한다. 또한 화학적인 조성면에서는 주류연이나 부류연과 대부분이 비슷하나 아주 많이 희석되고 동적인 혼합체이기 때문에 절대농도에 있어서는 큰 차이가 있으며, 특히 상 분포(Phase Distribution)와 구성입자의 크기등이 주류연과 부류연과는 차이가 있다. 그러므로 ETS는 담배 연기의 주·부류연과는 결코 동일하지 않으며 담배 연기를 갖고 ETS를 추정하거나 유추해석하는 것은 불가능 하다는 것이 많은 연구에서 실증되고 있다.

ETS에 관한 최근의 총설로는 Baker와 Proctor(1990) 그리고 화학적 조성을 중심으로 한 Eatough의 총설이 1990년에 발표되었다. Guerin에 의해서 1992년 ETS의 화학이라는 단행본이 출간된 바 있으며, ETS와 실내공기 질측수준과는 Holcomb의 총설이 1993년에 발표되었다.

Table 1. Dilution factors : MS components inhaled by a smoker versus ETS components inhaled by a nonsmoker breathing ETS - containing indoor air.

Tobacco smoke component	MS/ETS dilution factor
Nicotine	57,333 - 7,200,000
Acrolein	1,500 - 20,833
Benzene	112 - 7,167
Acetone	240 - 2,000
Benzo(a)pyrene	68 - 40,740

Dats was taken from Smith(1992)

주류연과 부류연의 이화학적 특성

ETS를 효과적으로 이해하기 위해서는 ETS를 구성하고 있는 주류연과 부류연을 살펴 볼 필요가 있다. 즉 주류연은 담배를 흡연하는 동안 입 안쪽으로 들어온 연기를 의미하며, 부류연은 흡연이 중지된 상태의 연소점에서 방출되는 연기가 95% 이상을 차지하고 약 5% 정도가 간류연(Smoulder Stream)과 권련지를 통해 확산되는 확산기류로 이루어지고 있다.

주류연과 부류연사이의 성분분포에 관한 연구는 대단히 많으며 1982년 오스트리아 Tabak의 Klus와 Kuhn에 의해 100여개 성분에 대한 주류연과 부류연의 상대적 분포비를 80여편의 논문을 참조하여 총설을 발표하였다. 그후 1990년에 Klus는 다시 부류연 포집장치의 장단점, 각 성분의 조성비율, 그리고 ETS와 관련한 내용으로 총설을 발표하였는데, 여기에서 그는 ETS를 이해하는데 부류연으로부터 여러

가지 실험적 정보는 얻을 수 있으나 자료에 의해 계산되어진 성분들의 비율은 ETS의 양적 구성을 밝히는 데에는 전혀 연관성이 없음을 지적한 바 있다. 다음 표 2는 Kentucky reference 1R4F 담배에 대한 주류연과 부류연에 함유하고 있는 몇가지 중요한 물질의 양을 표시한 것이다.

이 표에서 알수 있듯이 암모니아는 부류연에서 주류연보다 약 450배 정도 높은 반면 HCN 같은 성분은 주류연/부류연비가 0.6으로 성분에 따라서 매우 큰 차이를 보여주고 있다. 이러한 현상은 흡연과 흡연정지 기간중에 일어나는 다양한 열분해 반응과 열합성 반응에서 원인을 찾을 수가 있고 특히 권련 담배의 구조 즉 물리적 특성에 따라 크게 영향을 받는다. 그리고 부류연의 포집방법에 따라서 현저한 함량차이가 나타날 수 있는데 어떤 포집장치이든간

Table 2. Mainstream and sidestream deliveries of the Kentucky Reference 1R4F cigarette

	Per Cigarette		Ratio SS/MS
	Mainstream	Sidestream	
Total particulate matter(mg)	-	16.9	-
Nicotine(mg)	0.79	5.6	7.1
Carbon monoxide(mg)	11.3	54.1	4.8
Carbon dioxide(mg)	41.9	474	11.3
Nitrogen oxide(mg)	0.23	0.9	3.9
Ammonia(mg)	0.02	9.1	455
Formaldehyde(mg)	0.02	0.73	36.5
Acetaldehyde(mg)	0.63	4.2	6.7
Acrolein(mg)	0.07	1.3	18.6
Propion aldehyde(mg)	-	0.9	-
Hydrogen cyanide(μ g)	89.0	53.3	0.6
Benzene(μ g)	45.2	299	6.6
Benz[a]anthracene(ng)	10.5	197.5	18.8
Benzo[a]pyrene(ng)	9.2	147.9	16.0
NNN(ng)	101.4	171	1.7
NNK(ng)	84.0	419	5.0
NAT(ng)	114.0	110	1.0
NAB(ng)	18.0	13	0.7
NPYR(ng)	14.0	182	13

Data was taken from Guerin(1992)

에 발생하는 연기의 온도와 습도의 변화를 이상적으로 조절할 수 없는 문제가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 많은 연구자들이 노력하였는데 1980년대 초반까지는 Neurath(1964)장치가 그 후에는 일본의 Sakuma(1984) 등이 고안한 부류연 포집 장치가 사용되어 왔다. 그리고 Proctor(1988) 등에 의해 제시된 fishtail - chimney 장치가 있는데 이 장치는 기존의 linear type 자동흡연 장치에 직접 적용할 수 있는 장점이 있으나, CORESTA/ETS task force 팀을 근간으로 RJR의 Green(1992) 등의 ETS와 부류연과의 상호관계에 대한 면밀한 연구에 의하면, ETS를 구성하고 있는 연기와는 fishtail - chimney 장치에 얻은 부류연은 담배연기의 전달과 확산현상에 있어서 다르다는 것이 지적되었다. 그러므로 지금까지 부류연에 관하여 발표한 여러 함량 자료들은 자료를 획득하는 방법면에서는 정확성이 있지만 양적인 면에서는 심사 숙고하여 받아 들여야 한다는 것이 과학자들에 의해서 얻어진 결론이다(Nystrom, 1986).

즉 ETS의 구성은 부류연과 주류연이 동적인 복합체로 이루어졌고, 발생된 연기는 공기의 질적 환경에 좌우되고, 공간의 부피, 환기량, 가구의 존재여부 등에 의해 달라진다. 그리고 ETS 구성 성분들은 ETS가 aging되는 동안에 연기성분 단독으로 혹은 실내 공기 성분들과 화학반응이 일어나고 연기 입자들의 응축과 축적이 일어나기 때문이다. 그러나 부류연에 대한 연구는 주류연과 부류연을 구성하고 있는 각 성분의 함량과 분포에 대한 지식을 제공하

였고 연기의 발생 및 그 메커니즘에 대한 과학적 정보를 한층 더 증진시킴으로써 담배과학의 발전에 기여한 바 크다고 생각된다.

Environmental Tobacco Smoke의 물리적 특성

ETS의 물리적 특성은 주류연과 상당히 다른 특성을 갖고 있는 것으로 밝혀졌는데 이는 발생한 부류연이 빠른 확산으로 공기와 섞여지기 때문이다. 특히 주류연에 비하여 입자들의 크기가 작고 pH는 염기성으로 치우치는데 이것은 nicotine이 free form으로 90~95% 정도가 ETS의 증기상으로 존재하기 때문이다(Eudy, 1986).

이것은 상대적으로 nicotine이 표면에 대한 친화력이 다른 화합물보다 높기 때문에 공간으로 확산되는 속도가 빠르것과 같은 맥락이다. Unprotonated nicotine은 증기상태에서 다른 어떤 ETS 구성성분보다 빨리 구강점막을 통해 흡수되는 것으로 Armitage(1970) 등에 의해서 밝혀진바 있다. ETS를 구성하고 있는 nicotine의 회석 현상과 반감기에 대한 연구는 표 3에 수록한 RJR의 ETS chamber 시험결과(1988)를 살펴보면 대단히 유용한 정보를 얻을 수 있다.

이 표에서 알 수 있는것은 TPM/CO₂의 비율이 부류연에서 부류연 ETS로 전환할 때 약 50%정도 낮아지며 nicotine/CO₂는 약 85% 감소한다는 것이다. 이것은 니코틴의 상대적인 반감기가 낮은 것에 기인하는데 nicotine의 표면 친화력이 크기 때문에 chamber의 벽이나 다른 표면에 흡착되어 일어나는 현

Table 3. Weight ratios of selected components mainstream/sidestream/ETS

Constituents	Kentucky reference 1R4F cigarettes			True ETS (SS+Exhaled MS)
	Mainstream	Sidestream	Pure Sidestream ETS	
Carbon monoxide/Carbon Dioxide	0.270	0.114	0.135	0.150
Ammonia/Carbon dioxide	0.00043	0.0192	0.0243	0.0135
Nicotine/Carbon dioxide	0.0189	0.0118	0.0017	0.00135
TPM/Carbon dioxide	0.26	0.0357	0.0165	0.0249
Formaldehyde/Acrolein	0.233	0.576	2.94	2.03
Vinyl pyridine/Nicotine	-	-	0.612	0.561

Data was taken from R.J. Reynolds(1988)

Table 4. Particle characteristics function of ETS concentration

Particulate concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mass median diameter, μm	Particles smaller than $0.10\mu\text{m}$ diameter	
		Number fraction of total(%)	Mass fraction of total(%)
1.4	0.185	73	17
28	0.198	54	8.5
226	0.210	39	5.5

Data was taken from Ingebrethsen(1985)

상이다. 이것과 관련하여 Baker와 Proctor(1990)는 ETS를 구성하고 있는 입자들의 구성비는 흡연자가 내뿜는 입자들이 15~43% 정도 차지하지만 기체상 성분들은 아주 적은 양이 영향을 미친다고 한것을 주목해야 한다.

ETS의 입자들에 대한 size 연구는 Ingebrethsen과 Sears(1985)가 학술적으로 유용한 결과를 얻었으며 이를 표 4에 수록하였다.

이 표에서 알 수 있는것은 입자들의 농도가 진해 질수록 어느 특정 범위의 상대적인 입자들의 수와 양은 감소하지만 입자의 직경은 큰 차이가 없는 것을 보여주고 있다. 즉 ETS를 구성하고 있는 입자들의 직경은 $0.1\mu\text{m}$ 보다 적은 것이 39~73% 정도 분포되어 있는데 이 값은 연구자들에 따라서 약간의 차이가 있다. Ueno와 Peters(1986)는 mass median diameter(질량 평균 직경)가 $0.16\mu\text{m}$, Black(1988)등은 $0.255\mu\text{m}$, 그리고 Benner(1989)등은 $0.107\sim 0.255\mu\text{m}$ 라고 각각 보고하였다. 이러한 차이는 ETS입자들을 측정하는 측정공간과 밀접한 관계가 있으며 측정 담배의 물리적 특성에도 영향을 받을 것으로 보인다.

Environmental Tobacco Smoke의 화학적 조성

ETS는 aged되고 희석된 담배연기이기 때문에 aging되는 과정에 어떤 화학성분과 혼합되어 다른 형태로 전환될 수 있다. 따라서 공공장소(field test)에서 ETS를 구성하고 있는 성분의 참값(true value)을 파악한다는 것은 매우 어렵고 그 구성 물질들을 잘못 측정할 수 있는 문제점이 원천적으로 존재한다. 이러한 이유때문에 연구자들에 따라 ETS 측정값이 서로 다르게 발표되고 있는 실정이다.

Field test에서 얻은 ETS 측정치의 신뢰도는 잘못 측정할 수 있는 오차를 제거 했느냐 하는 문제로

귀결되므로 각 성분들의 표준화를 기하고, 측정값의 정확도와 재현성을 높이기 위하여 온도, 습도 및 환기 조절과 정전기의 방지, 그리고 각종 방향성 물질의 방해를 줄이기 위한 다양한 chamber 연구를 수행하게 되었는데 이를 controlled experimental atmosphere(CEA)라고 한다.

Eatough(1989)는 ETS의 기체상 물질과 입자상 물질을 분석하기 위하여 30m^3 의 teflon bag을 사용하였으며, RJR의 Heavner(1986)등은 18m^3 의 stainless steel을 사용하였고, 미국 EPA의 Lofroth(1989)등은 13.6m^3 의 plexiglas chamber를 사용하여 nicotine과 aldehyde 성분을 분석하기도 하였다. Hammond(1987)등은 ETS의 passive sampling을 위하여 전체 부피가 34m^3 인 알루미늄으로 코팅된 chamber를 사용하기도 하였다. 이러한 일련의 연구들은 ETS의 주요 구성 성분에 대한 decay와 반감기의 결정(Tang, 1990), 분포비율, 온도와 습도에 대한 영향, 광능적 변화양상(Walker, 1993), 특히 ETS 연구의 실용적인 방안인 건축 구조물의 효과적인 환기량 조절에 대한 경제적 방안등을 제시한 Nelson(1993)등의 연구를 들 수 있다.

ETS의 화학적 특성은 static matrix가 아니라는 것이다. 그렇기 때문에 chamber와 field의 차이는 상존하는 것이고 ETS의 실험실 대기를 표준화할 수 없는 문제점과 어떻게 담배연기가 aged 되는가? 어떤 환경 조건에서 담배 연기를 발생시켜야 하는가? 환기량은 얼마로 해야 하는가? 빛은 어떻게 조명해야 하는가? 실제 상황과의 차이를 최소로 줄일 수 있는 chamber내의 표면은 어떤 방법이 있는가 하는 문제점들이 향후 주요 연구 대상이 될 것이다.

그러므로 ETS화학성분 분석 data는 분석의 어려

음과 복잡성이 있으며 대부분의 연구자들이 ETS의 증기상 성분들에 주안점을 두었는데 이것은 ETS의 질량면에서 bulk 하기 때문이다. 이러한 측정값은 상대적인 조성에서 그들의 일반적인 경향을 찾기는 매우 어렵고 다만 field 특성에 대한 실제상황에 따라 가변적이라는 것을 밝혀준다.

ETS의 화학반응은 표면이나 airborne 성분과 함께 일어나는데 이것은 ETS 구성 성분이 시간이 경과함에 따라 감소하기 때문이다. Guerin(1992)은 formaldehyde/acrolein ratio가 주류연에서는 0.233, 부류연에서는 0.576, ETS에서는 2.03으로 증가함을 보고하였는데 이것은 acrolein의 반응성에 기인한다고 하였다. Baker(1990)등은 NO에 대한 반응성을 제시하였는데 이 NO는 대기중의 산소와 반응하여 NO로 전환된다. 이러한 산화반응은 ETS aging의 척도가 될 수 있을 것이다.

UV에 의한 ETS의 aging에 관한 연구는 Benner(1989), Eatough(1989) 등에 의해서 이루어 졌는데 UV 주사에 의해서 nicotine과 3-ethenyl pyridine(3-EP)은 의미 있는 감소현상이 일어나고 2-ethenyl pyridine과 입자상 nicotine은 증가 현상이 있음을 보고하였다. 이러한 현상은 nicotine의 광학적 반응성을 예시한 것으로서 형광 lamp와 UV lamp을 공공의 빌딩에 설치하는 목적과 부합된다고 볼 수 있다.

Environmental Tobacco Smoke의 지표물질

ETS의 지표물질(markers)은 ETS가 단일물질이 아니고 수천개의 화학성분으로 구성되어 있기 때문에 ETS를 대표할 수 있는 몇가지 성분을 선정하는데 연구자들은 오랫동안 심사숙고 하여 왔다. ETS의 marker는 다음과 같은 몇가지 특성을 갖고 있어야 한다.

첫째 담배연기에만 존재하거나 거의 유일한 성분이어야 하며, 둘째 적은량의 담배를 흡연하였을 때도 흡연공간에서 쉽게 감지할 수 있는 정도의 농도가 노출되어야 하고, 셋째 제조된 담배의 특성에 따라서 그 생성된 성분의 양이 서로 비슷해야 하며, 넷째 주어진 공간의 공기들과 담배에 의해서 생성된 성분이 서로 광범위하고 균일하게 혼합체를 이루어야 한다.

이러한 몇가지 요인들은 미국의 National Research

Council(1986)에서 정의하고 있으며, RJR의 Ogden(1994)도 이와 비슷한 정의를 내리고 있다.

ETS의 marker는 특정 성분의 분석으로 전체 ETS의 노출정도를 인지할 수 있어야 하기 때문에 그 중요성은 매우 높다. 이러한 측면에서 1980년대에는 일산화탄소는 담배연기의 주요성분이기는 하지만 담배뿐만아니라 다른 유기물질의 연소 반응에서도 생성되기 때문에 특정성분으로 볼 수 없는 단점이 있으나 실내공기의 질적수준과는 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에 많은 ETS 연구에서 측정 조사되고 있다.

ETS 중에서 가장 많이 연구되었고 담배연기의 특정성분으로 인식되어 있는 nicotine은 현재까지 약 130 여편(Green, 1994) 이상의 ETS 연구논문이 발표되었다. 그리고 또 이 nicotine은 다른 담배 연기 성분과의 상호 분포 비율에서도 어느정도 상관성이 높기 때문에 field에서의 ETS 농도수준을 해석하는데 유용한 장점을 가지고 있다. 그러나 최근 Nelson(1991, 1992a)에 의하여 밝혀진 바에 의하면 nicotine은 잔존율이 커서 nicotine의 decay 현상이 실내의 환기에 의해 쉽게 배출되지 않는다는 점을 지적하여 ETS의 marker로서 몇가지 문제점이 있는 것으로 알려지고 있다. 따라서 nicotine을 ETS marker로서 사용할때는 nicotine과 RSP(Respirable Suspended Particulate Matter)와의 농도비율, 또는 solanesol 등과의 상대적 분포비율에 관심을 가져야 한다는 지적이 있다.

또 다른 marker로는 3-ethenyl pyridine을 들 수 있는데 이 성분은 흡연시 nicotine의 열분해에 의해서 생성되며, 2, 4의 두가지 이성질체가 있고 3-EP가 주요 화합물로 Eatough(1989)에 의해 알려졌으며 Nelson(1992b)등에 의해 환기량을 달리하는 controlled environment test chamber에서 연구된 바 있다. 이 3-EP는 nicotine의 active sampling 방법인 Amberlite XAD-4 resin 흡착방법에 의한 GC/NPD로 분석할 때 동시에 측정할 수 있기 때문에 최근에 ETS marker로 이용하고 있다.

휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOC)은 담배연기의 기체상뿐만 아니라 "sick building syndrum"과 관련성이 높아 통상적으로 실내 공기에서 측정되고 있으므로 ETS의 marker로서 분

류한다. 이 VOC로는 aliphatic, olefinic, hydrocarbonyl 등이 포함되어 있으며 주로 formaldehyde나 benzene, 그리고 toluene, xylene 등을 측정한다(Wallace, 1989). Heavner(1992) 등은 3-EP과 28종의 VOC에 대해서 각각의 농도를 측정하고 이들의 상대적 분포비를 이용하여 실내공기의 VOC 함량에 미치는 ETS의 영향을 평가하는 연구를 발표하였다.

다음으로 입자상 물질들을 살펴보면 먼저 RSP를 들 수 있는데, Repace(1980)에 의해서 처음으로 ETS와의 상관성을 발표하였다. 이 RSP는 입자의 직경이 2.5 μ m보다 작은것을 의미하며 "inhalable"이라고 지칭한다. 실내 공기중에 존재하는 입자들은 고체상이나 액체상 입자를 모두 포함한다. 그러나 ETS의 RSP는 대부분의 실내공기 입자들보다 작은 size를 갖기 때문에 RSP \neq ETS가 아니라 McAughey(1990)의 주장이 주목받고 있다. ETS의 RSP는 대부분이 담배연기에서 생성된 liquid나 waxy 방울을 포함하고 있으며(Stober, 1992), 최근에는 단순한 RSP 농도 수준보다는 ETS RSP와 관련성이 높은 UV-PM(Ultraviolet Particulate Matter)과 FPM(Fluorescing Particulate Matter)으로 구분하여 분석하고 있다.

이들 성분들은 ETS에 의해서 유도된 입자들의 평가에 있어서 좀더 정확성을 제공한다고 믿고 있다(Ogden, 1994). Eatough(1990)등의 연구를 보면 실내공기의 질적수준과 상관성이 높은 입자상 부유물질의 전체함량에 미치는 ETS, RSP의 영향은 50% 미만이라고 알려져 있다.

입자상 물질중의 새로운 marker로서 최근에는 solanesol(C₄₅H₇₄O, MW 631)이 대두되고 있다(Tang, 1990, Ogden, 1992, ASTM, 1994). Solanesol은 고분자량의 trisesquiterpenoid alcohol로서 ETS의 RSP 뿐만 아니라 잎담배나 담배연기 응축물에서도 발견된 바 있으며 휘발성이 매우 낮기 때문에 장시간의 sampling시에도 손실이 크게 일어나지 않는 장점을 갖고 있다. 이 solanesol은 중량비로 볼 때 RSP의 2~4% 정도의 분포비를 갖고 있으며 그동안 분석과정의 복잡성 때문에 ETS marker로써 단점을 갖고 있었으나 Ogden(1992) 등에 의해 HPLC/UV 법에 의한 분석과정의 단순화를 이루었고 이(1994)등의 연구에서 감지한계를 0.05 μ g/m³으로 개선한 바 있다.

또 다른 미량의 ETS marker들로서는 담배특유의 니트로소아민 (Tobacco Specific N-nitrosamine, TSNA)을 들 수 있는데 이 성분은 이(1994)등의 연구 결과에 따르면 휘발성 니트로소아민과는 매우 특이한 분포 비율을 갖고 있음이 밝혀졌고 분석과정의 몇가지 단점을 보완하면 매우 특성이 있는 ETS marker로서 대두될 수 있을 것으로 보인다.

이상 ETS marker들을 살펴 보았는데 한가지 중요한 사실은 이들 성분 모두 field 조건에 따라서 가변적이고 전체 ETS를 대신할 수 없으며 다만 ETS의 일부분 이라는 것을 우리는 알아야 한다.

ETS 지표물질의 분석방법

Active Sampling과 Passive Sampling

앞에서 언급한 바와 같이 ETS는 수천개 성분의 복잡한 혼합체이기 때문에 실내공기 중에서의 sampling 방법과 측정조건의 선택이 매우 중요하다. 즉 air sampling시 구성되는 pump의 용량, flowrate, 흡착제의 선정 그리고 sampling의 시간, sampling의 위치등에 따라서 측정값이 가변적일 수 있다. 그리고 추출용매의 선정과 감지한계를 고려한 적절한 sampling 방법을 선택해야 하며 active sampling과 passive sampling의 방법에 (Lioy, 1983) 따라서도 그에 적합한 조건을 설정해야 한다.

Active sampling은 pump에 의해 공기를 포집하는 방법으로 공기의 시료부피가 크고, 단시간에 시료를 포집할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 방법에서는 실험목적에 적합한 pump를 선정해야 하는데 28L/min이상의 것을 high volume이라고 하고 그 이하의 것을 low volume이라고 분류한다(Furtado, 1983) 이러한 pump는 personal sampling pump, peristaltic, oil-free diaphragm vacuum 그리고 rotary vacuum pump등이 있으며 대부분의 high volume air sampling은 rotary vacuum pump이다. 그러나 어떤 형태의 pump에서나 실용적인 문제점이 있는데 그것은 전기적이나 기계적으로 유량의 조절에 관한 것으로 sampling 시간의 증가에 따라 흡착되는 입자들이 많아지므로 인하여 sampling 하는동안 유량이 변화한다는 사실이다. 그리고 실내공기의 sampling은 반드시 oil less pump를 사용해서 오염을 방지해야

된다.

Passive sampling은 어떤 환경속에 노출된 성분을 비가역적으로 흡착이나, 흡수 또는 화학반응 등을 통하여 화학적으로 고정시켜 sampling 하는 방법을 말한다. 즉 확산에 의한 전이메카니즘으로 포집하는 것이라고 볼 수 있다. 보통 pump도 사용하지만 질량전이가 주요형태이고, 공업적 유해물질의 monitoring에 많이 응용된다. 이 방법은 active sampling 방법에 비해 상대적으로 간단하며 비용이 적게 들고 정교한 흡입기구가 없이도 정량적인 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다.

ETS 분야에서는 passive sampling badges을 많이 사용하는데 이러한 형태는 Mckee(1982) 등과 Kring(1982) 등에 의해서 적용되었고 주로 ETS 중의 VOC, formaldehyde, 암모니아, 이산화질소, 그리고 이산화탄소 등의 passive sampling에 사용되었다. 이러한 형태의 sampling은 흡착되는 성분들의 분자크기와 흡착제의 길이 및 장치의 개열된 크기에 의존적이며 Fick's의 확산제일법칙에 의해서 실질적인 sampling rate(cm^3/min)가 계산되어진다(Mulik, 1989).

흡착제(Tsuchiya, 1990)로는 Tenax(Poly, P-2, 6-diphenylphenylene)나 2,4-dinitrophenylhydrazine과 Ambersorb XE 340등이 사용된다.

Nicotine의 passive sampling은 sodium-bisulfate가 처리된 테프론코팅 유리섬유필터(Hammond, 1987)나 Ogden(1989)이 시도한 XAD-4 resin bed 등이 있으나 아직 그 효용성에는 문제점이 없지 않다(Cake, 1990).

증기상 성분의 포집

ETS 중의 증기상 marker로는 현재 VOC와 nicotine, 3-EP 및 myosmine이 주로 취급되고 있는데 nicotine은 앞에서 언급한 바와 같이 ETS로 공간에 노출되면 증기상으로 약 90% 이상 존재하기 때문에 고체흡착제를 이용하면 효과적으로 sampling할 수 있다.

가장 널리 쓰이는 흡착제로는 Amberlite XAD-4 resin(styrene divinyl benzene)이며, Ogden⁸⁰ 등에 의해서 많은 연구가 이루어졌고. CORESTA(1990)와 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health) method(1980)에서도 채택하고 있다.

흡착된 증기상 성분은 ethyl acetate로 추출하여 GC/NPD로 분석하게 된다. 이때의 sampling 시간은 6시간 이상 그리고 유속은 2L/min을 채택하고 있다.

Wallace(1987)에 의해서 연구된 Tenax는 다공성 고분자 수지인데 ETS가 아닌 특별한 실내공기 연구에서 가장 많이 사용하는 방법이며 기체-고체 크로마토그래피의 고정상을 발전시킨 것이다. 특히 $C_7 \sim C_{12}$ 의 화합물에 대한 흡착능은 매우 우수하지만 휘발성이 강한 화합물에 대해서는 그 효과가 떨어지기 때문에 Higgins(1989)등은 Texax와 더 강한 흡착능력을 갖는 흡착제를 혼합하여 ETS중의 휘발성 화합물에 대한 정량성을 높인 연구가 있다.

이외의 흡착제로는 charcoal이 있는데 증기상 성분의 흡착능력에서는 매우 높은 효율성을 가지지만 탈착에 있어서 정량성이 확보되지 못하고 있으며, polyurethane foam의 plug는 Jackson(1980) 등에 의해서 연구되었으나 sampling 하는 동안 가변적인 artifacts가 생성되는 것으로 알려져 있다. 또한 최근에는 고순도의 탄소 분자체가 개발되었는데(Supelco, 1990)이 흡착제는 정도가 매우 높은 탄소표면으로 이루어져 흡착과 탈착과정이 좋을 뿐만 아니라 소수성의 특성을 갖고 있기 때문에 ETS의 증기상 성분 연구에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

입자상 물질의 포집

밀폐된 에어로졸은 그 크기(size)가 다양하게 분포되어 있다. Size는 일반적으로 평균길이를 표현한다. 이것은 median의 수와 질량으로 나타내는데 수의 분포는 어떤 주어진 size 수준에서의 입자 수를 의미하고 질량분포는 어떤 주어진 size 수준에서 입자들의 전체 질량을 의미한다.

이러한 입자들의 수와 질량은 전통적으로 actual scattering에 의해서 측정되어 왔으며(Harrison, 1986) 최근에는 piezobalance에 의해서 TSP(Total Suspended Particulates Matter)을 무게법으로 정량하고 농도와 size 분포는 condensation nucleus counter을 사용한다(MCAughey, 1994). ETS에 있어서는 주로 RSP를 측정하게 되는데 이 RSP는 여과 방법에 의한 무게법 정량이 일반화 되어있으며(Thompson, 1989), cyclone separator을 사용하여 작은 입자들을 통과시켜 micro membrane filter(fluoropore membrane

filter, Milipore FALP 03700, Pore Size 1.0 μ m, 37mm i.d.)에 흡착시켜 무게를 달아 측정하게 된다. 이때에는 sampling 시간과 flowrate을 결정해야 하며, 2.5~3.5 μ m보다 적은 입자들을 측정하게 되고 이보다 큰 입자들은 separator의 벽에 의해서 제거되도록 설계되어 있다. 일반적으로 ETS의 field 측정에는 2 L/min의 유속으로 6시간 sampling하는 것으로 되어 있다.

UVPM과 FPM은 앞에서 포집한 membrane filter를 vial에 취하고 methanol을 가한 후 shaking하여 HPLC로 325nm에서 흡수분광도 값을 측정하여 surrogate standard인 2,2,4,4-tetrahydroxy benzophenone에 의해서 정량한다. FPM은 위에서 조제된 시료용액을 HPLC로 분리하여 Fluorescence detector를 이용하여 excitation 300nm, emission 420nm에서 각각 분광도를 측정하여 surrogate standard인 scoploteine을 이용하여 정량 분석한다.

또한 solanesol은 앞에서 얻은 시료용액을 Delta-bond ODS column을 사용하여 HPLC로 분리하고 205nm에서 흡수분광도 값을 측정하면 감지한계를 0.05 μ g/m³으로 높일 수 있다. 이러한 분석법은 저자들의 연구보고서(이, 1994)와 ASTM(1994)을 참조하면 자세한 분석과정을 알 수 있다.

공공장소의 environmental tobacco smoke의 농도

Nicotine

Nicotine(3-(1-methyl-2-pyrrolidinyl)-pyridine)은 ETS중에서 가장 많이 연구된 성분중의 하나이다. 흡연이 허용된 실내에서의 농도수준은 95% 이상이 10 μ g/m³이하의 측정치를 보이고 있다(Ea-tough, 1990).

OSHA(직업안전성센터)에서는 작업장에서의 TWA(eight-hour time weighted average)가 500 μ g/m³이하의 농도수준을 기준으로 하고 있으며, NIOSH에서는 단시간 노출제한 값은 1,500 μ g/m³으로 그리고 IDLH(Immediately Dangerous to Life and Health)는 35,000 μ g/m³으로 정하고 있다. 그러므로 각 기관에서 제안된 농도수준과 비교해 볼 때 대부분의 field 측정값은 25~50배 정도 낮은 것을 알 수 있다.

흡연의 강도(Smoking Intensity)는 흡연개피수/공간 부피/시간으로 나타낼 수 있는데 그 정도에 따라 일반적으로, heavy 그리고 심각함 등으로 구분할 수 있고, 단순히 통상적이거나 아니면 비통상적이거나로 구분할 수 있다.

Thompson(1989)등은 smoking intensity에 대해서 0.0244 \pm 0.0246 cig/m³/hr로 나타냈는데 이 값은 실내의 체적이 40 \times 22 \times 10(inch)에서 1시간동안 6개의 담배를 흡연한 정도의 값이다. 그러므로 smoking intensity는 nicotine의 농도수준으로 표현할 수 있다.

비흡연자가 ETS nicotine에 노출되었을 때 어느 정도의 nicotine이 비흡연자가 흡입하는가에 대한 연구는 혈액, 뇨, 그리고 침액중에서 nicotine이나 그들의 대사산물인 cotinine 그리고 t-3-hydroxy cotinine을 측정하면 판정할 수 있다. Doolittle(1994)의 보고에 따르면 개인적인 nicotine의 노출량이 비흡연 가정으로부터 비흡연자는 0.07 μ g/m³이고, 흡연 가정으로부터 비흡연자는 0.30 μ g/m³으로 약 4.3배 정도 차이가 있고 침액중의 cotinine 농도는 0.10ng/ml에서 0.98ng/ml, 뇨중의 cotinine 농도는 3.47 μ g/g에서 9.99 μ g/g으로 차이가 있다고 하였다.

물론 비흡연자가 ETS에 노출이 되면 분명히 nicotine이나 cotinine의 농도가 증가하지만 그 차이는 매우 적다는 것을 시사하고 있다. 다만 최근에 Iwase(1991)등에 의해서 제안된 바에 의하면 비흡연자가 들며마신 ETS nicotine의 60% 정도가 잔존된다고 하였지만 아직까지도 ETS 노출에 대한 직접적이고 정량적인 지표인자가 없기 때문에 비흡연자에게 노출되는 정도에 대한 연구는 많음(Henderson, 1989, Roussel, 1991)에도 불구하고 그 영향을 정확히 평가하기에는 아직 미흡한 것이 사실이다.

즉 흡연자에게 일어나는 nicotine의 대사과정과 ETS에 의해서 노출된 비흡연자들의 nicotine의 대사과정을 이해하는데 더 큰 어려움이 있고, 또한 중기상의 nicotine과 입자상으로 존재하는 nicotine과는 서로 다를 것이기 때문이다.

최근에 발표된 Byrd(1994)등의 연구에 따르면 흡연자들이 들며마신 nicotine의 90%가 오줌이나 그들의 대사과정에 의해서 소실되며 이것은 24시간 주기로 측정된 값이라고 하였다. 또한 Jarvis(1989)의 연구에 따르면 비흡연자가 ETS에 의해 노출된 nico-

Table 5. Field nicotine levels ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) reported in major studies

Situation	No. of Observations	Mean	SD	Median	Range
Residences					
Homes - Smoking	162	19	33	-	7-292
Homes - Non - smoking	612	8	6	-	7-82
Homes - Smoking	47	2.2	2.4	-	0.1-9.4
Offices					
Offices	44	1.1	2.1	-	0-16.0
Offices - Smoking	156	4.8	-	-	0-69.7
Offices	194	3.5(1.7)	8.3	<1.6	<1.6-71.5
Offices - Naturally ventilated	17	10.0	-	-	0-41.9
Other Work Situations					
Offices, Workshops, etc. - smoking	238	14	18	-	7-167
Offices, Workshops, etc. - non - smoking	495	9	7	-	7-99
Miscellaneous	282	4.3(1.7)	11.8	<1.6	<1.6-126.3
Public Buildings					
Supermarkets	17	0.7	-	0.9	0.3-3.3
Bank lobbies, courthouse areas, etc.	45	5.9(1.7)	16.6	<1.6	<1.6-90.8
Restaurants					
Restaurants	170	5.1	-	-	0.0-23.8
Restaurants	34	5.4(3.5)	6.4	4.1	0.5-37.2
Cafeterias	62	7.5(3.2)	12.9	3.4	<1.6-84.5
Restaurants	46	8.4	-	-	-
Restaurants	21	6.3	-	4.2	0.3-24.8
Restaurants - area sampling	21	4.3	-	2.9	0.3-24.0

Data was taken from Eatough(1990)

tine과 cotinine의 생리학적 수준으로 볼때 담배를 많이 피우는 흡연자의 0.5~2.0% 범위에서 nicotine이 섭취된다고 하였다.

이러한 일련의 연구결과를 종합해서 살펴보면 비흡연자에 미치는 ETS nicotine은 분석값의 정량성과 생리학적 영향등이 문제가 없음을 말할 수 있다.

입자상 물질

입자상 물질은 실내공기 오염원중 가장 중요한

성분중에 하나이며, 호흡기 질환과의 상관성이 높기 때문에 실내공기의 질적수준의 척도가 되고 있기도 하다. 우리나라에서는 이러한 부유물질(meas median diameter, $10\mu\text{m}$ 이하)에 대해서 실내 위생관리기준(공중위생법 제45조)에 따르면 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 되어 있다.

ETS 분야에서는 이 입자상 물질을 RSP로 측정하고 UVPM, FPM, 그리고 solanesol을 함께 측정하는 방법을 취하고 있다.

표 6에 미국에서의 RSP 측정값을 종합적으로 수록하였고(Oldaker, 1990) 표 7에는 우리나라에서의 실내공간별 RSP와 solanesol 그리고 nicotine에 대한 측정값을 수록하였다.

위 표에서 알 수 있는것은 미국의 경우 대부분의 실내공간별 평균 RSP의 농도가 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 측정되었다. 물론 측정지역의 특정한 환기조건에 따라서 그 이상의 값도 나타난다. 우리나라에서는 호프집, 오피스텔 등에서 대단히 높았고, 아파트, 호텔 로비, 커피숍등은 그 함량이 매우 낮은 것을 알 수 있다.

특히 RSP는 외부공기의 질적수준과 직접적인 상관성을 갖고 있기 때문에 ETS-RSP의 농도증가는 RSP/nicotine을 측정함으로써 밝혀질 수 있는데 저자들의 연구(이, 1994)에 의하면 chamber study에서 1R4F reference 담배의 RSP/Nicotine은 18~20 수준이었고, 사무실내의 농도수준은 94년 4월~5월에 측정된 RSP/Nicotine 비가 30~50이었고, 9월과 10

월에는 15~30 수준이었다.

따라서 상대적인 RSP 값과 nicotine값의 비에 의해서 실내공기의 질에 대한 ETS 영향을 평가할 수 있는 가능성을 시사하고 있다. 또한 solanesol 0.2~5.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었는데 대체적으로 nicotine과 RSP가 높은 곳에서 solanesol도 높은 수준을 보였으나 호텔로비와 커피숍에서 보면, nicotine이 다소 높은 반면에 solanesol이 낮은 함량수준을 보이는 곳도 있었다.

이러한 결과는 쉽게 설명하기 어려우나 Nelson (Nelson, 1992a)의 보고를 참고해보면, 잔존 nicotine의 영향이 아닌가 생각되며 solanesol과 nicotine의 상대적인 decay 현상으로 설명할 수 있을 것이다.

참고적으로 OSHA의 작업장내 RSP의 개인노출 제한량이 15,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (NIOSH, 1985)이고 EPA에서는 TSP가 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 곳에 24시간동안 노출되지 않도록 제한을 두고 있으며 RSP는 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 정

Table 6. Respirable suspended particulate matter($\mu\text{g}/\text{m}^3$) comparison of arithmetic geometric means for selected studies

Location/Conditions	Reported Range	Arithmetic Mean	Geometric Mean
165 Offices in 5 Cities	0 - 115	157	122.3
264 Restaurants in 6 Cities	0 - 843	145	113.7
37 Restaurants	16 - 221	80.8	62.0
224 Homes Onandaga Cty	0.72 - 172	36.7	25.7
209 Homes Suffolk Cty	2.18 - 284	46.4	35.9
70 Smoking Location in 40 Bldgs.	< 5 - 308	70	44

Data was taken from Oldaker(1990)

Table 7. Levels of ETS major markers in Korea($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Test site	RSP	Solanesol	Nicotine
Coffee shop	80	0.8	6.8
Hotel lobby	70	0.9	8.2
Officetel	310	5.7	8.6
Restaurants(Korean)	188	0.4	6.0
Beer house	416	5.0	21.5
Underground shopping shop	73	0.2	2.2
Apartment	64	2.0	3.8

Data was taken from Rhee(1994)

해져 있다. 그리고 EPA의 표준은 RSP에 대한 전 노를 평균값이 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 정해져 있는데 이 농도는 ETS가 전혀 공여되지 않은 실내에서도 나타날 수 있는 수준이다.

ETS에 대한 EPA 견해의 문제점

EPA가 ETS를 “Group A Carcinogen”으로 분류하는데 결정적으로 참고한 30개의 역학적 논문들과 이들의 통계분석 접근 방법인 meta-analysis 즉 ETS에 대한 상대적인 위험도(Relative Risk, RR) 평가를 함에 있어서 meta-analysis 기법(Stockler, 1993, Henry, 1992)을 잘못 적용했다는 Steichen(1994)의 보고가 발표되었는데 이 보고서의 주요내용은 EPA가 ETS를 “Group A Carcinogen”으로 분류할때 과학적 정확도와 응용성이 결여된채 발표되었다는 것이다.

즉 폐암에 대한 RR값이 EPA에서는 1.19로 표현했는데 혼돈인자를 감안하여 재분석한 결과 RR값이 1.12로 감소한다는 것이다. 또한 Stockwell(1992)과 Brownson(1992)등의 연구 논문을 참조해서 분석해보면, RR값이 1.03으로 감소하며 이 수치는 통계적으로 의미가 없는 값이 된다고 하였다.(표 8 참조) 또한 Coggins(1994a)의 보고서 즉 94년 3월에 제출된 미국 상원 환경, 토목분과 위원회의 대기정화 및 원자핵 규제 소위원회에 “담배연구소의 환경담배연기에 대한 관심”의 성명서를 참조해 보면 ETS에 대한 EPA의 결론은 미약하며 모순된 증거에 근거를 두고 있어 선별적인 논의에 불과하다고 하였으며, EPA의 접근방식은 과학적인 조사에 대응논리가 약하고 공공정책 주도를 위해 건전한 근거를 제공하지

않고 있다고 강하게 주장하고 있다. 계속해서 Coggins(1994b)는 1994년 9월에 열린 제48차 TCRC에서 “EPA 보고서의 과학적 평가”에 관한 연구에서 EPA가 채택한 역학조사는 오류가 많고 편견과 혼돈 그리고 기회에 대한 적절치 못한 선택에 의해서 이루어진 것이라고 결론을 내리고 있다.

이러한 결론에 도달하게 된 몇가지 중요한 논문들이 93년, 94년도에 각각 발표되었는데 이것은 Thompson(1993)등의 흡연가구중에 생활하는 비흡연자와 비흡연가구 사이의 음식물 섭취와 정신적 건강 차이에 관한 조사연구이다.

이 연구에 따르면 흡연가구에 사는 사람들이 비흡연가구에서 사는 사람들보다 지방질의 소비빈도가 높고 음주량이 많으며 채소를 적게 소비하는 것으로 조사되었기 때문에 흡연가구에서 비흡연자의 질병 양상을 해석할때는 조심해야 한다는 것을 주장하였다.

Cress(1994)등은 간접흡연에 노출된 비흡연 부인들의 특성에 관한 연구에서 ETS에 노출되어 있지 않은 부인과 흡연가정에서 사는 부인들 사이에 중요한 생활방식과 개인적인 차이를 발견하였는데 그것은 폐암에 관련된 여러 인자들이 ETS에 노출된 부인들 사이에 높은 것으로 조사되어 ETS와 질병 증가 risk 관계를 확인할 수 있는 어떤 연구방법에 대한 결론이 내려지지 않은 상태에서는 만일 흡연자의 부인이 나쁜 건강습관을 갖고 있거나 질병을 유발할 수 있는 다른 요인을 가지고 있다면 그러한 인자는 통제 또는 조절되어야 한다고 주장하였다. 만약 이를 통제할 수 없다면 질병과 ETS사이의 통계학적인 인과관계는 우발적이거나 판단을 그르칠 수 있다고 하였다.

Table 8. Cumulative corrections

Change	Relative Risk	90% Confidence Level
EPA Meta-analytic RR	1.19	1.04, 1.35
Misclassification data	1.15	1.01, 1.32
Janerich RR	1.12	0.98, 1.28
Stockwell and Brownson	1.03	0.93, 1.15
5% Misclassification rate	0.92	0.83, 1.02
Bias, Confounders	?	?

Data was taken from Steichen(1994)

이와같은 일련의 연구보고서를 종합해보면 EPA의 판단은 문제점이 있다는 것을 인식할 수 있겠고 좀더 과학적인 연구가 체계적으로 진행되어야 한다는 점에 동의할 수 있다.

비흡연자에게 미치는 ETS의 영향

ETS에 대한 비흡연자에게 미치는 영향에 관한 연구는 많은 조사에도 불구하고 현재까지 기술적인 문제점이 많다. 이러한 연구결과에 대한 종합적인 총설로는 Smith(1992)등의 ETS에 대한 "현재의 평가와 향후 연구방향"이란 제목으로 가치있는 논문이 최근에 발표되었다. 이 논문에 따르면 실제 실내오염도와 의학적 견해와는 일치하지 않는다는 것과 건강위해 및 질병등이 실내공기 오염으로부터 온 것인지의 여부를 판정하는 기술이 아직은 불충분하며 ETS에 의한 실내공기 오염척도에 대한 증거확보가 어렵다는 것등이다.

ETS에 대한 생태학적인 연구는 in vitro, 동물 노출실험과 사람에 노출실험등으로 구분할 수 있으며 (1994) in vitro 연구에는 세포배양 실험에 의한 cytotoxicity와 genotoxicity 즉 DNA damage 시험인 mutagenicity와 clastogenesis 등으로 나눌 수 있다.

이 분야의 연구는 Doolittle(1990)과 Lee(1992)등의 연구를 들 수 있으며 이들에 의해서 설계된 노출실

험실을 이용하여 90일동안 rat을 ETS에 노출시키면서 측정한 결과 Coggins(1992)는 14일 동안에 pathology response가 인정되지 않았고, ETS를 4.0mg/m³ 정도 rat에 노출시켰을때 단지 조직학적 변화가 관측되었고 기타 toxicity는 변화가 없었다고 하였다 (Coggins, 1993). 또한 Lee(1993)등은 ETS를 0.1~1.0 mg/m³으로 90일동안 노출시켰을때도 DNA adducts가 관측되지 않았다고 하였다.

이러한 일련의 결과와 더불어 Smith(1992)등에 의해서 ETS의 no-observed-effect-level(NODE)이 1.0mg/m³이라고 발표하였다. 이 결과는 ETS는 아주 희석된 담배연기이기 때문에 생태학적 활성이 없는 것으로 결론을 지을 수 있다. 참고적으로 표 9에 ETS 노출유무에 따른 비흡연자의 생화학적 특성을 수록하였다.

Table 9

ETS에 대한 비흡연자의 노출정도를 측정하는 연구로는 1994년도에 미국의 실내공기 연구센터(Center for Indoor Air Research)에 제출된 Jenkins(1994a) 등의 연구가 있는데 이 연구에서는, 비흡연자들의 ETS 노출현상은 가정에서 보다는 작업장에서 높다고 하였으며, 이들의 또 다른 연구인 ETS에 대한 비흡연자의 개인적 노출 정량연구(1994b)에서는 RSP의 50% 정도가 담배가 아닌 다른 연소물질에 의해서 발생된다고 하였다. 미국의 Johns Hopkins 대학의

Table 9. Characteristics of subjects in field study

	Non - ETS - Exposed Nonsmokers	ETS - Exposed Nonsmokers	Smokers
Total(n)	11	10	8
Males(n)	2	2	6
Females(n)	9	8	2
Age(years)	33.09(4.43) *	30.70(6.55)	39.13(3.12)
Salivary cotinine(µg/dl)	0.17(0.05)	1.44(0.41)	388.63(53.88)
Urinary cotinine(µg/dl)	4.49(1.53)	18.83(3.83)	3212.94(643.69)
Urinary creatinine(µg/dl)	115.69(28.00)	107.71(38.93)	98.54(28.74)
Urinary thromboxane(pg/ml)	84.58(4.71)	79.24(5.95)	88.10(13.92)
Prostacyclin (pg/ml)	67.07(2.99)	73.50(4.41)	105.29(11.71)

Data was taken from Doolittle(1994)

*Median with ranges

역학교수인 Matanoski(1994) 등이 미국 노동부 산하 OSHA에 제출된 연구논문인 ETS와 비흡연 여성과의 관계에서 언급한 내용에는 흡연자들에 의해서 실내 공기의 질적수준은 변화를 가져왔지만, 질병과의 관계는 ETS보다도 교육의 정도와 사회적 경제생활 특성과 강하게 연관되어 있으므로 어떤 규칙을 제정할 때 이 점을 참고하라고 주장하고 있다.

결 언

ETS는 매우 복잡한 것이라는 것을 다시한번 생각케되는 많은 결과들을 살펴보았다. 흡연의 유해성에 대한 편중된 감각으로 비흡연자들의 상대적 위험도를 증폭시켜온 선입관과 혼돈동이 그렇지 않다는 과학적 연구 결과에도 불구하고 논쟁의 결론은 ETS의 복잡성 만큼이나 쉽지않을 것이라는 생각이 든다. 다만 우리는 많은 부분이 이 문제의 합리적이고 지혜로운 해답을 얻기 위한 과학적인 data의 축적에 노력해야 할 것이고, ETS의 향후 연구방향 즉 노출에 대한 평가, 이상적인 환기시스템의 개발, 관능상의 제반문제점 개선등이 우리에게 주어진 시급한 과제로 인식하고 있다. 왜냐하면 일반대중은 복잡한 진실보다는 간단한 거짓을 잘 믿기 때문이다.

감사의 글

이 총설을 쓸 수 있도록 많은 자료를 제공해주신 R.J. Reynolds사 연구센터의 Green 박사, Lee 박사, Ogden 박사 그리고 Doolittle 박사에게 감사를 드리며, 최선의 감각을 느낄 수 있도록 배려해주신 한국인삼연초연구원 모든 분들에게 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌

1. Armitage, A.K., and Turner, D.M.(1970) Absorption of nicotine in cigarette smoke through the oral mucosa. *Nature* 226 : 1231 - 1232.
2. ASTM 1st draft, (1994) Standard test method, for estimating the contribution of environmental tobacco smoke to respirable suspended particles bases on UVP and FPM, Annual book of ASTM standards, Vol.11.03, 1 - 19.
3. Aviado, D.M. (1984) Carbon monoxide as an index of environmental tobacco exposure, *Eur. J. of Resp. Dis. Supp.*, No. 133, 47 - 60.
4. Ayres, P.H., Mosberg, A.T. and Coggins, C.R.E. (1994) Design, construction and evaluation of an inhalation system for exposing experimental animals to ETS, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 55(9) : 806 - 810.
5. Baker, R.R. and C.J. Proctor (1990) The origins and properties of environmental tobacco smoke, *Environ. Int.* 16(3) : 231 - 246.
6. Benner, C.L., Bayona, J.M., Ceka F.M., Tang, H., Lewis, L., Crawford, J., Lamb, J.D., Lee, M.L., Lawis, E.A., Hansen, L.D., and Eatough, D.J. (1989) Chemical composition of environmental tobacco smoke, 2. Particulate - phase compounds, *Environ. Sci. Technol.* 23 : 688 - 699.
7. Black, A., Pritchard, J.N., and M. Walsh (1988) An exposure system to assess the human uptake of airborne pollutants by radiotracer technique with particular reference to sidestream cigarette smoke, *J. Aerosol Sci.* 18 : 757 - 760.
8. Brownson, R.C., Alaranja M.C.R., Hock, E.T., and Loy, T.S. (1992) Passive smoking and lung cancer in nonsmoking woman. *Am. J. Public Health* 82 : 1525 - 1530.
9. Byrd, G.D., Robinson, J.H., Caldwell, W.S., and J. Donald deBethizy (1994) Nicotine uptake and metabolism in smokers, *Recent Advances in Tobacco Science* vol. 20, 9. 5 - 31.
10. Cake, F.M (1990) Intercomparison of sampling techniques for nicotine in indoor environments, *Environ. Sci. Technol.* 24 : 1196 - 1203.
11. Coggins, C.R.E., Ayres, P.H., and Mosellog, A.T. (1992) Fourteen - day inhalation study in rats using aged and diluted sidestream smoke from a reference cigarette, *Inhalation toxicology, histopathology, Fundamental and Applied Toxicology* 19 : 133 - 140.
12. Coggins, C.R.E. (1993) Sub - chronic inhalation

- study in rats using aged and diluted sidestream smoke from a reference cigarette, *Inhalation Toxicol.* 5 : 77 - 85.
13. Coggins, C.R.E. (1994a) Concerning environmental tobacco smoke, Statement of the tobacco institute, Before the United States Senato Committee on Environment and Public Works Subcommittee on Clean Air and Nuclear Regulation. Presented RJ.Reynolds Tobacco Company, 1 - 23.
 14. Coggins, C.R.E.(1994b) Scientific assessment of the EPA report, Respiratory effects of passive smoking : Lung cancer and other disorders, 48th TCRC, Sep. 1994, Greensboro, N.C., USA.
 15. CORESTA Recommended Method No. 14 (1990) Determination of nicotine in environmental tobacco smoke by gas chromatography analysis.
 16. Cress, R.D., Holly, E.A., Aston, D.A., and Kristiansen, J.J. (1994) Characteristics of women nonsmokers exposed to passive smoke, *Prev. Med.* 23 : 23 - 47.
 17. Doolittle, D.J., Lee, C.K, and Hayes, A.W.(1990) Comparative studies on the genotoxic activity of mainstream smoke condensate from cigarettes which burn of only heat tobacco, *Environmental and molecular Mutagenesis* 15 : 93 - 105.
 18. Doolittle, D.J. (1994) Biological studies on environmental tobacco smoke, Special lecture, Presented, 32nd KOSTAS, Oct. 28. 1994, AnDong, Korea.
 19. Eatough, D.S., Benner, C.J., Bayona, J.M., Richards, G., Lamb, J.D., Lee, M.L., Lawis, E.A., and Hansen, L.D. (1989) Chemical composition of environmental tobacco smoke, I. Gas phase acids and bases, *Environ. Sci. Technol.* 23 : 679 - 687.
 20. Eatough, O.J, Hamsen, L.D, Lewis, E.A.(1990) The chemical characterization of environmental tobacco smoke Proceeding of the International Symposium at McGill University, 3 - 39.
 21. Eudy, L.W., Thome, F.W., D.K.Heavner., C.R. Green., and Ingebretsen, B.J. (1986) Studies on the vapor, particulate phase distribution of environmental nicotine by selective trapping and detection methods, Proceedings, 79th Annual meeting of the Air Pollution Control Association, Paper 86 - 387.
 22. Furtado, V.C(1983) Air movers and samplers, proceeding, Air sampling instruments for evaluation of atmospheric contaminants, 6th Edition Cincinnati, O.H. 2 - 22.
 23. Green, C.R. (1992) CORESTA ETS Task force meeting, Personal communication, Swiss (1992)
 24. Green, C.R. and Nelson, P.R.(1994) Secondhand smoke : Current U.S.status and suggested actions, Special lecture, 31st KOSTAS, June 3, 1994, Chongju, Korea.
 25. Guerin, M.R., Jenkins, R.A., and Tomkins, B.A. (1992) The Chemistry of environmental tobacco smoke : Composition and measurement, Lewis Publishers, Boca Raton, USA.
 26. Hammond, S.K. and Leaderer, B.P. (1987) A diffusion monitor to measure exposure to passive smoking, *Environ. Sci, Technol.* 21, 494 - 497.
 27. Harrison. R.M., and Perry, R. (1986) Handbook of air pollution analysis, 2nd edition, Chapman and hall, N.Y., pp. 634.
 28. Heavner, D.L., Thome, F.A., and Green, C.R. (1986) A test chamber and instrumentation for the analysis of selected environmental tobacco smoke components, Paper 86 - 37.9 presented at the 79th annual meeting of Air Pollution control Association, Minneapolis, Minnesota, USA.
 29. Heavner, D.L., Ogden M. W., and Nelson, P.R. (1992) Multisorbent thermal desorption/gas chromatography/mass selective detection method for the determination of target volatile organic compounds in indoor air, *Environ. Sci. Technol.* 26(9) : 1737 - 1746.
 30. Henderson, F.W., Reid, H.F., and Hainmond, S. K. (1989) Home air nicotine levels and urinary cotinine excretion in preschool children, *Am, Rev, Respir, Dis.*, 140 : 197 - 210.
 31. Henry, D.A. and Wilson, A(1992) Meta - analy-

- sis : Part 1 : An assessment of its aims validity and reliability, *Med. J. Aust.* 156 : 31 - 38.
32. Higgins, C.E., Jenkins, R.A., and Guerin, M.R. (1989) Organic vapor phase composition of sidestream and environmental tobacco smoke from cigarettes. *Procs., EPA/APCA Symposium on Measurement of Toxic and Related Air Pollutants*, 140 - 151.
 33. Holcoms, L.C. (1993) Indoor air quality and environmental tobacco smoke, *Environ. Int.* 19 : 9 - 40.
 34. Ingebretsen, B.J., and Sears, S.B. (1985) Particle size distribution measurements of sidestream cigarette smoke, 39th TCRC, Montreal, Quebec, Canada.
 35. Iwase, A, Aiba, M, and Kira, S. (1991) Respiratory nicotine absorption in non - smoking females during passive smoking, *Int. Arch. Occup. Environ. Heath.* 63 : 139 - 143.
 36. Jackson, M.D., and Lewis, R.G. (1980) Polyurethane foam and selected sorbents as collection media for airborne pesticides and polychlorinated biphenyls. Sampling and analysis of toxic organics in the atmosphere, *ASTM STP 721*, American Society for Testing and Materials, 36 - 47.
 37. Jarvis, M.J. (1989) Application of biochemical intake markers to passive smoking measurement and risk estimation, *Mut. Res.*, 222 : 101 - 110.
 38. Jenkins, R.A. and Guerin, M.R. (1994a) Determination of human exposure to environmental tobacco smoke, *Interim Report No. 3*, (Center for indoor Air Research, Internal change No. 3390 - 2407.
 39. Jenkins, R.A. (1994b) Determination of personal exposure of non - smokers to environmental tobacco smoke, Presented at the 48th TCRC, Sep, 25, Greensboro, USA.
 40. Klus, H. and Kuhn, H. (1982) Verteilung verschiedener tabakrauch bestandteile auf haupt- und nebenstromrauch (Eine Übersicht), *Beitr, Tabakforsch, Int.* 11 : 229 - 265.
 41. Klus, H. (1992) Distribution of mainstream and sidestream cigarette smoke components, 44 the Tobacco Chemists Research Conference, *Recent Advances in Tobacco Science*, vol. 16, p. 189 - 232.
 42. Kring, E.V., Graybill, M.W., Morello, J.A., Ansul, G.R., Adkins, J.E., and Lauten - berger, W.J. (1982) PRO - TEK organic vapor air monitoring badges. *Toxic materials in the atmosphere*, *ASTM STP 786*, American Society for Testing and Materials, 85 - 103.
 43. Lee, C.K., Brown, B.G, Doolittle, D.J., and Hyes, A.W. (1992) Fourteen - day inhalation study in rats, using aged and diluted side stream smoke form a reference cigarette, *Fundamental and Applied Toxicology* 19 : 141 - 146.
 44. Lee, C.K., Brown, B.G., Reed, E.A., and Hayes, A.W. (1993) Ninety - Day inhalation study in rats, using aged and diluted sidestream smoke from a reference cigarette : DNA adducts and alveolar macrophage cytogenetics, *Fundamental and Applied Toxicology* 20 : 393 - 401.
 45. Lioy, P.J., and Lioy, M.J.Y. (1983) Air sampling instruments for evaluation of atmospheric contaminants, Cincinnati, OH, USA.
 46. Loforoth, G. (1989) Characterization of environmental tobacco smoke, *Environ. Sci. Technol.* 23 : 610 - 614.
 47. Matanoski, G.M., and Kanchanaraksa, S. (1994) Characteristics of non - smoking women in HANES I with exposure to smoking spouses, Submitted to the *American Journal of Epidemiology*.
 48. McAughey, J.J., Pritchard J.N., and Strong, J.C. (1990) Respiratory deposition of environmental tobacco smoke, *Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Vol. 2, Toronto, Canada, p. 361 - 366.
 49. McAughey, J.J., and Dickens, C.J. (1994) Environmental tobacco smoke retention in humans from measurements of exhaled smoke composition, 48th TCRC, NC., USA.

50. Mckee, E.S., McConnaughey, P.W., and Pritts, I.M. (1982) Organic vapor dosimeter. Toxic materials in the atmosphere, ASTM STP 786, American Society for Testing and Materials, p. 104 - 112.
51. Mulik, J.D., Lewis, R.G., and McClenny, W.A. (1989) Modification of a high efficiency passive sampler to determine nitrogen dioxide or formaldehyde in air, *Anal. Chem.* 61 : 187 - 189.
52. National Research Council (1986) Environmental tobacco smoke : Measuring exposures and assessing health effects, national Academy Press, Washington, D.C., p. 70.
53. Nelson, P.R. (1991) Where there's smoke ?, Biases in the use of nicotine and cotinine as environmental tobacco smoke biomarkers, Proceedings of the 1991 EPA/A WMA International symposium : "Measurement of toxic and related air pollutants," Air Waste Management Association, Pittsburgh, USA, p. 449 - 454.
54. Nelson, P.R. (1992a) Effect of ventilation and sampling time on environmental tobacco smoke components ratios, *Environ. Sci. Technol.* 26(10) : 1909 - 1915.
55. Nelson, P.R. (1992b) Problems with the use of nicotine as a predictive environmental symposium : "Measurement of toxic and related air pollutants" Air Waste Management Association, Pittsburgh, USA, 550 - 556.
56. Nelson, P.R., Sears, S.B., and Heavner, D.L. (1993) Application of methods for evaluating air cleaner performance, *Indoor Environment 2* : 111 - 117.
57. Neurath, G. and Ehmke, H.(1964) Apporator zur untersuchung des nebenstromrauches, *Beitr. Tabakforsch.* 2 : 117 - 121.
58. NIOSH (1980) National Institute for Occupational Safety and Health, Registry of toxic effects of chemical substances, Vol. 2.
59. National Institute for Occupational Safety and Health[NIOSH] (1985) NIOSH/OSHA Pocket guide for chemical hazards, Environmental tobacco smoke - measuring exposures and assessing health effects, DHEW publ, No. 85 - 14, Cincinnati, Ohio, National Institute for Occupational Safety and Health, 241.
60. 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.
61. Ogden, M.W., and Maiolo, K.C. (1989) Collection and determination of solanesol as a tracer of environmental tobacco smoke in indoor air, *Environ. Sci. Technol.* 23(9) : 1148 - 1154.
62. Ogden, M.W., Eudy, 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.
63. Ogden, M.W., Maiolo, K.C., Oldaker, G.B., 3, and Conrad, F.W.Jr. (1989) Evaluation of methods for estimating the contribution of ETS to respirable suspended particles, 43rd TCRC, Richmond, VA, USA.
64. 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.
65. Ogden, M.W. (1994) Spectrometric methods for estimating the contribution of environmental tobacco smoke to airborne particulate levels, ASHRAE Winter meeting, New Orleans, Louisiana, USA.
66. Oldaker, G.B., Perfetti, P.F. and McBride, R.L. (1990) Results from surveys of environmental tobacco smoke in offices and restaurants, *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 60 : 99 - 104.
67. Proctor, C.J., Martin, C., Beven K.L., and Diamond, H.F.(1988) Evaluation of an apparatus designed for the collection of sidestream tobacco smoke, *Analyst* 13 : 1509 - 1513.

68. Repace, J.L., and Lowrey, A.H. (1980) Indoor air pollution, tobacco smoke and public health, *Science* 208 : 464 - 472.
69. 이규서, 양광규, 이문수, 나도영, 안기영 (1994) ETS와 공기의 질적변화, 담배연구 보고서 제20 분야.(인쇄중)
70. Reynolds, R.J. (1988) Chemical and biological studies of new cigarette prototypes that heat instead of burn tobacco, R.J. Reynolds Tobacco Company, Winston Salem, North Carolina, p. 120 - 173.
71. Roussel, G., Quang, L.E., Migyres, M.L., Roche and Ekindjian, O.G. (1991) An interpretation of urinary cotinine values in smokers and non-smokers, *Rev. Mal. Resp.* 8 : 225 - 232.
72. Sakuma, H., Kusama, M., Yamaguchi, K., Matsuki T., and Sugawara, S. (1984) The distribution of cigarette components between mainstream and sidestream smoke, II. Bases, *Beitr. Tabakforsch. Int.* 12 : 199 - 209.
73. 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.
74. Steichen, T.J., and Sears, S.B. (1994) ETS and Meta - analysis : The U.S.EPA experience, RJRT report, R.J. Reynolds Tobacco company, Bowman Gray Technical Center, p. 1 - 29.
75. Stober, W. (1982) Generation size distribution and composition of tobacco aerosols, *Recent Advances in Tobacco Science*, Vol. 8, p. 3 - 41.
76. Stockler M, and Coates. A. (1993) What have we learned from meta - analysis ?, *Med. J. Aust.* 159 : 291.
77. Stockwell, H.G., Goldman, A.L., and Brusa, M.R. (1992) Environmental tobacco smoke and lung cancer risk in nonsmoking woman, *J. Natl Cancer Inst.* 84 : 1417 - 1422.
78. Supelci, Inc. (1990) High - purity carbon molecular sieves for monitoring many volatile airborne contaminants, *The Supelco Reporter* 9 : 13 - 16.
79. Tang, H., Richards, G., Banner, C.L., Tuominen, J.P. Lee, M.L., Lewis, E.A., Hansen, L.D., and Eatough, D.J. (1990) Solanesol : A tracer for environmental tobacco smoke particles, *Environ. Sci. Technol.* 24 : 848 - 852.
80. Thompson, C.V. Jendins, 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.
81. Thompson, D.H., and Warburton, D.M. (1993) Dietary and mental health differences between never - smomkers living in smoking and non - smoking housholes, *J.Smoking - Related Dis.* 4 (3) : 203 - 211.
82. Tsuchiya, Y., and Stewart, J.B. (1990) Volatile organic compounds in the air of canadian buildings with special reference to wet process photocopying machines, *Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Vol. 2, p. 633 - 638.
83. Wallace, L.A. (1987) The Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study : Summary and analysis : Volume 1, EPA/600/6 - 87/002a.
84. Wallace, L.A (1989) The total exposure assessment methodology (TEAM) Study : An analysis of exposures, sources and risks associated with four volatile organic chemicals, *J. Am. College of Toxicol.* 8(5) : 883 - 895.
85. Ueno, Y. and Peters, L.K. (1986) Size and generation rate of sidestream cigarette smoke particles, *Aerosol Sci. Technol.* 5 : 469 - 476.
86. U.S. Environmental Protection Agency (1992) Respiratory health effects of passive smoking : Lung cancer and other disorders. ORD, OHEA, Washington, DC. EPA/600/690/006F. Dec. 1992.
87. U.S. Environmental Protection Agency (1987) The risk assessment guidelines of 1986, EPA/600/8 - 87/045.
88. U.S. Environmental Protection Agency (1990). Health effects of passive smoking : Assessment of lung cancer in adults and respiratory disorders in chindren. EPA/600/690/006A, May. 1990.

89. U.S. Environmental Protection Agency (1992) Respiratory health effects of passive smoking : Lung cancer and other disorders. ORD, OHEA, Washington, D.C.EPA/600/690/006B, May. 1992.
90. Walker, J.C., Jennings, R.A., Nelson, P.R., Morgen, W.T., Heavner, D.L., Robinson, J.H., deBethizy, J.D., and Stancill, M.W. (1993) Sensory responses to environmental tobacco smoke from tobacco - burning and tobacco - heating cigarettes, *Indoor Air* 3. 170 - 180.