Journal of the Korean Society of
Tobacco Science Vol. 35, No. 1, 47~55(2013)
Printed in Republic of Korea

◀ 총 설 ▶

환경 중 담배연기(ETS) 성분 분석

황 건 중
한국과학기술정보연구원, Reseat 프로그램
(2013년 11월 8일 접수; 2013년 11월 20일 수정; 2013년 11월 25일 승인)

Analysis of Environmental Tobacco Smoke(ETS) Components : A Review

Hwang, Keon Joong
Korea Institute of Science and Technology Information, Reseat Program,
(Received Nov 8, 2013; Revised Nov 20, 2013; Accepted Nov 25, 2013)

ETS에는 4000여종의 가스상, 증기상 및 입자상 성분들이 존재하고 있으며 이들 성분들은 실내환경 조건에 따라 실내 표면과 실내의 다른 공기 중 성분과 반응하기도 하면서 다양하게 변화되는 특성이 있다. 대표적인 ETS 지표성분으로는 일산화탄소, 니코틴, 3-에틸 피리딘(3-에틸 피리딘) 등의 가스상 물질이 있으며, 이외에도 2,5-디 메틸 후란도 다른 가스상 성분과의 높은 상관성으로 인하여 지표성분으로 간주되기도 한다. 호흡성 미세입자 성분인 이소 와 앞 이소-알칸을 ETS의 입자상 성분의 지표성분으로 취급되기도 한다(Bi, 2005). WHO(2004) 보고서에 따르면 ETS는 가스상 성분과 입자상 성분으로 구성되며, 실내공간에서 희석되거나 숙성되면서 그 조성이 변화된다. ETS를 포함하는 실내공간이 밀폐되어 있다면 폐로 유입될 수 있는 미세입자들이 증가하는 경향을 보이기도 하며, ETS를 발생시키는 조건, 즉 흡연자의 흡연 양상, 담배의 조성 및 형태, 흡연 상태 등에 의하여 비흡연자에게 전달되는 ETS의 형태가 달라진다. 실내환경에는 수많은 화학물질들이 존재하고 있는데 대표적인 성분으로는 휘발성 유기화합물(VOC), 다환성 방향족 탄화수소(PAHs), 벤젠/톨루엔/자일렌(BTX) 및 카보닐 화합물, 무기성분 등이다. 이들 물질들이 실내에 존재하게 된 이유는 담배연기를 비롯하여 페인트, 용제, 광택제, 단열제, 합성섬유, 접착제, 합성세제, 청소 용품, 가전제품 등에 의한 것이다(Sarigiannis, 2011).

대부분의 ETS 연구는 실내에 존재하는 ETS 성분을 분석하여 거주자의 건강영향을 평가하거나, 분석결과를 기초로 하여 실내의 오염도, 간접흡연 효과, 위험성 평가를 실시하고 있다. 분석의 정확성, 신속성, 신뢰성을 얻기 위하여 각종 분석기기들이 사용되고 있는데, 가스크로마토그래피(Gas chromatography, GC), 액체 크로마토그래피(Liquid chromatography, LC)와 같은 각종 분석기기가 주로 사용되고 있으며, 미량으로 존재하는 성분의 분석을 위해서는 일반 분석기기에 질량 분석기(Mass Chromatograph, MS)를 장착한 GC-MS, LC-MS 등이 이용되고 있다. ETS에 관한 연구는 실내에 존재하는 지표성분을 분석하는 직접적인 방법을 많이 사용하고 있는데, 주류연 및 부류연에 존재하는 지표성분을 선정한 다음, 정확한 정량적 분석을 하는 것이 가장 중요하고, 지표성분은 다른 성분들을 대표할 수 있는 성분으로, 실내

*연락저자 : 305-701, 대전광역시 유성구 과학로 335, KISTI전문연구위원실
*Corresponding author : *KISTI Research Program, 335 Science Road, Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Korea*
(phone : 82-42-869-0687; e-mail: hwangkeonjoong@hanmail.net)

의 희석 및 확산을 고려한 분석 가능한 물질이어야 한다. ETS 연구에서 어떤 내용성분을 분석할 것인가를 결정하는 것이 매우 중요하게 작용할 수 있으며 담배연기 분석에서 항상 주의하여야할 사항 중의 하나가 성분의 복잡성 인데 이를 줄이기 위한 노력이 계속되고 있다. 많은 연구에서 ETS를 대표할 수 있는 지표성분의 선정을 시도하였는데, ETS의 지표성분이 되기 위해서는 1) 담배연기에 유일하게 존재하는 성분, 2) 일반적인 분석방법으로 분석할 수 있을 정도의 양이 존재하는 성분, 3) 대부분의 궐련제품에서 유사한 수준으로 방출되는 성분, 4) ETS와 비례해서 존재하는 성분 등의 조건에 충족되어야 한다. CORESTA의 공동연구를 통해 호흡성 분진(Respirable Suspended Particular Matter, 호흡성 분진M), 자외선 입자물질(Ultraviolet Particulate Matter, 자외선 입자물질), 형광 입자물질(Fluorenscent Particulate Matter, 형광 입자물질), 용해성 입자물질(Soluble Particulate Matter(SolPM), 니코틴, 3-에틸 피리딘, 2,5-디 메칠 후란 등이 ETS의 지표성분으로 선정되어 분석되고 있으나, 니코틴 등은 실내환경에서 오래 동안 존재하지 못하고 침착되는 특성 등으로 인하여 지표성분으로 부적합하다는 의견이 있다.

ETS의 복잡한 성분에 대한 연구는 실제 조건에서 이루어지기가 어려우며, 실제 환경을 대신하여 환경조절 실험실(Environmental chamber)에서 실험이 이루어지는 경우가 많은데, 이러한 환경조절 실험실은 환경을 조절할 수는 있어도, 실제 생활환경과는 다를 수밖에 없고, 얻어진 자료 역시 사용에 제한적일 수밖에 없는 문제점이 있으며, 표준화된 평가방법이 개발되지 못하고 있는 실정이다(WHO, 2004). ETS를 대표할 수 있는 지표물질을 찾고자 하는 노력은 오래 동안 계속되고 있으나 수천가지의 성분을 대표하는 한 가지 물질을 찾는데 상당한 어려움이 있으며, ETS가 환경에 따라 화학적으로 물리적으로 시간에 따라 변화한다는 것도 지표물질을 찾는데 어려움을 더하고 있다. 가장 이상적인 지표물질은 담배 특이적이어야 하며, 분석이 용이하고, 다른 물질이 존재하는 비율과 같이 존재하여야 하는데 이러한 모든 조건을 충족하는 지표물질은 아직 없는 실정이다. 1980년대 중반까지 일산화탄소가 일반적으로 사용되는 지표성분이었는데, 저렴한 장비를 이용하여 실시간으로 쉽게 측정할 수 있고, 부류연의 발생과 비례해서 발생된다는 장점이 있는 반면, 모든 물질의 연소과정에서 생성되는 물질로 담배에만 특이적으로 존재하는 물질이 아니어서, 아직 실내의 중요한 성분으로 취급하고 있으나 적합한 ETS 지표성분으로 사용되지 않고 있다. 호흡성 분진이 ETS의 지표물질로 사용되기도 하였는데, 흡연구역과 비 흡연구역에서 측정되는 호흡성 분진의 농도에는 분명한 차이가 있으며, 모든 환경에서 흡연을 실시하면 농도가 증가하고 있었는데, ETS 외의 다른 많은 발생원에서도 호흡성 분진이 생성되고 있다. 실내 전체 호흡성 분진의 10~50%가 ETS에 의한 것으로 보고가 되고 있으나, 실내 호흡성 분진의 발생원이 너무 다양한 관계로 지표성분으로 사용하는 데에는 문제점이 있다. 담배 제품에 특이적으로 존재한다는 이유와 1980년대 중반부터 공기 중에 존재하는 니코틴의 함량을 쉽게 분석할 수 있는 기술이 개발되면서 니코틴이 대표적인 ETS 지표성분으로 간주되기도 하였으나, 실내에 존재하는 니코틴은 실내물질과의 친화성으로 인하여 시간 경과에 따라 쉽게 감소되고, 특히 증기상의 니코틴은 입자상보다 쉽게 소멸되는 특성을 갖고 있다. 이러한 단점에도 불구하고 현재 환기 등의 환경조건이 일정한 경우 증기상 니코틴은 ETS가 유일한 오염원이기 때문에 많은 연구자들이 실내공기 중의 대표적인 ETS 지표성분으로 사용하고 있다.

최근까지 가장 유용한 ETS 입자상의 지표성분으로 솔라네졸(solanesol)이 사용되고 있는데, 이는 담배 잎에 존재하는 tri-sesquiterpenoid 알코올 성분으로서 분자량(631 g/mole)이 커서 쉽게 휘발되지 않으며, 희석이 많이 되더라도 입자상 성분에 안정적으로 존재하는 성질을 갖고 있다. 분석의 어려움은 다소 있으나 ETS 입자상의 3~4%를 차지하고 있으며, 자외선 등에도 다른 성분에 비하여 안정적으로 것으로 알려지고 있어 좀 더 많은 현장실험과 실험실 측정이 요구되고 있다. ETS의 또 다른 지표성분으로 3-비닐 피리딘, 이소프렌 등이 이용되기도 하는데, 3-비닐 피리딘 성분은

담배연기의 증기상에 특이적으로 존재하는 물질로 분석이 용이하며, 반응성이 작은 ETS 성분인 일산화탄소 및 이산화탄소와 같이 실내환경에서 시간에 따른 감소율이 매우 적은 안정적인 특성을 갖고 있다. 이소피렌 역시 ETS 지표성분으로 사용되고 있는데, 이는 담배에 존재하는 고분자의 테르펜 화합물이 열분해 되어 생성되는 물질로, 다른 식물체의 연소과정에서도 생성되는 문제점이 있으나, 담배가 유일한 연소물질인 상황에서는 유효하게 사용될 수 있는 성분으로 알려지고 있다 (Guerin, 1992).

ETS 입자상 성분 분석

밀폐된 실내공간에서 ETS 입자상 성분은 그 크기 및 종류가 매우 다양하게 분포되어 있으며 몇 가지로 나누어서 분석될 수 있는데 대표적인 지표성분은 자외선 입자물질, 형광 입자물질, 솔라네졸 등이다. 이들 성분은 다른 ETS 성분과의 상관성이 니코틴이나 호흡성 분진보다 높다는 장점을 갖고 있으며, 이 성분들의 분석을 위해서는 2 L/min의 유속에서 6시간 펌핑하면서 멤브레인 필터를 이용하여 공기 중의 입자를 포집하고, 메탄올로 용해한 후에 325 nm에서 흡수 분광도 값을 측정한다. 형광 입자물질은 300 nm 와 420 nm의 파장에서 형광감지기를 이용하여 분석하고 솔라네졸은 델타 결합 ODS 관(Delta bonded ODS column)을 사용하여 205 nm에서 흡수 분광도값을 측정하여 분석하는데 검출한계를 0.05 ug/m^3까지 할 수 있다. ETS 지표성분들을 분석하기 위해서 사용한 고성능 액체크로마토그래피(HPLC)는 Dionex사의 GP 40 이중 펌프(0~6000psi), 고리 형태 주입구로 구성되어 었으며, 검출기는 Spectra System사의 자외선-가시광선 검출기인 UV2000과 형광 검출기인 FL2000을 사용하고 있다. 이들 중 솔라네졸을 분석하기 위한 관은 Heystone Scientific사의 델타 결합 ODS(250×3㎜)제품을 사용하였다. 또한 공기 중 니코틴 성분의 포집을 위해 사용한 샘플 흡착용 튜브는 SKC사의 XAD-4 흡착제로 코팅되고 유리로 밀봉된 제품인 샘플 흡착용 튜브를 사용하고 있다. ETS성분 분석은 Milipore사의 F4(1.0㎛) 필터를 사용하였으며, 공기펌프는 SKC사의 Model 2240 PCXR8이었고, 유속 측정은 Alborg사의 GFM-1700 유량계를 사용하고 있다. 호흡성 분진을 측정하기 위해 ug까지 측정 가능한 Satorius사의 전자저울을 사용하였다.

호흡성 분진은 실내공기 중의 오염물질로서 일반적으로 많이 분석되어지는 ETS 성분 중의 하나이며, 입자의 크기가 2.5 μm 이하로서 호흡과 함께 폐로 유입될 수 있는 것을 총칭하고 있다. 실내에 존재하는 호흡성 분진의 발생원으로는 ETS, 요리 등 흡연 이외의 활동을 들 수 있으며, 1회 식사를 위한 요리에 의해서도 실내 호흡성 분진의 5~18%가 발생한다고 보고하고 있다. 외부의 호흡성 분진이 내부로 유입되면서 실내의 농도를 좌우하는 경우가 많아서 ETS의 지표성분으로 사용하는 것은 적합하지 않으나 비교분석을 위한 자료로 많이 사용되고 있다. 많은 연구자들이 호흡성 분진을 구성하는 ETS 입자성분을 분석하기 위해 자외선 입자물질, 형광 입자물질 및 솔라네졸을 사용하고 있으며, 자외선 입자물질 호흡성 분진 중 325 nm의 자외선을 흡수하는 것들의 총합으로 담배연기 중 타르가 연소되면서 발생하는 것으로 알려져 있다. 자외선 입자물질로 ETS의 입자상 성분을 정량분석하기 위해서는 대용 표준품(Surrogate standard)으로서 2,2,4,4-테트라 하이드록시 벤조페논(tetrahydroxy benzophenone)을 사용하고 있는데, 이 물질이 환경 챔버에서 포집한 ETS 중의 호흡성 분진과 높은 상관계수(R^2 = 0.96)를 나타내고 있어서 호흡성 분진 중의 자외선 입자물질을 정량분석하기 위한 표준품으로 사용되고 있다. 실내환경 중에 존재하는 호흡성 분진 중 ETS에 의해 발생된 것을 예측하기 위해서 자외선 입자물질 분석값이 일반적으로 많이 사용되고 있다. 실내환경의 호흡성 분진 중 형광 입자물질은 300 nm 및 320 nm의 빛 파장에서 형광을 나타내는 물질로 자외선 입자물질과 마찬가지로 담배의 타르 성분이 연소될 때 발생되는 물질이다.

형광 입자물질의 표준물질로는 스코포레틴(scopoletin)이 사용되고 있는데 환경 챔버에서 실시한 ETS와의 상관성 분석 결과 높은 유의수준(R^2 = 0.96)을 나타내고 있으며 형광 입자물질의

정량분석에 사용하고 있으며 형광 입자물질 역시 실내환경의 호흡성 분진 중 ETS가 차지하는 부분을 예측하기 위하여 사용되고 있다. 솔라네졸은 담배에 특이적으로 존재하는 성분으로, 분자량이 631인 비휘발성 물질이며 다른 지표성분들보다 입자상에만 존재하는 특성과 분석의 용이성, 다른 성분과 비례적으로 안정한 특성 등으로 인하여 대표적인 ETS 입자상 지표물질로 사용되고 있다. 솔라네졸은 전체 ETS의 입자상 성분의 3.3%를 차지하고 있으며, 이 비율은 거의 변하지 않은 관계로 이 3.3% 이하로 솔라네졸이 존재하면 ETS 이외의 발생원으로 인하여 호흡성 분진이 증가하였다고 추론할 수 있다(Moschandreas, 1999). 실내의 입자상 성분에 미치는 ETS의 영향에 관한 연구(Paoletti, 2006)에서는 입자의 크기를 PM_{10}, $PM_{2.5}$로 구분하여 흡연구역과 비 흡연구역에 대한 분석을 실시하였는데, PM_{10}의 경우는 흡연을 하는 실내 입자상의 28~44%가 ETS에 기인하고 있으며 $PM_{2.5}$의 경우는 78~95%가 ETS에 기인하고 있다고 보고하고 있다. 실외의 PM_{10} 입자 중 48%가 실내에 영향을 미치고 있으며, 흡연구역의 입자상 성분의 60%가 흡연으로 인하여 발생된 것이라고 예측하고 있다. PM_{10}과 같이 큰 입자상 ETS 물질들은 흡연구역에만 영향을 미치는 반면, $PM_{2.5}$과 같은 미세입자들은 더 큰 휘발성 등으로 인하여 인접지역에도 영향을 미치고 있다고 보고하고 있다.

ETS 휘발성 성분 분석

미국의 과학 학술위원회(The National Academy of Science)에서 제안하는 ETS 지표성분의 조건은 1) ETS에 특이적, 또는 거의 특이적으로 존재하는 성분이며, 2) 흡연량이 적은 상황에서도 실내공기에서 쉽게 분석되어져야 하며, 3) 담배 종류에 따라 배출되는 비율과 비슷한 수준이어야 하며, 4) 사람에게 해로운 영향을 주는 ETS 성분과 일정한 비율을 보여야한다고 서술하고 있다. 실내공기 오염물질 중에 ETS의 영향을 평가하는 가장 일반적인 성분은 니코틴으로서, ETS에 특이적으로 존재하는 성분으로 실내공기 중에서 쉽게 분석되어지는 특성을 갖고 있으며 입자상 및 증기상으로 존재하고 있다. 증기상 니코틴은 강한 알카리성을 띠고 있으며 입자상에 비하여 쉽게 실내환경에서 소멸되는 특성이 있어서 4번째 기준인 ETS의 다른 성분과 일정한 비율을 유지하지 못하는 문제점이 있다. 그러나 니코틴은 ETS에 특이적으로 존재하는 대표적 성분으로 아직도 많은 자료에서 니코틴을 분석을 하고 있으며, 가장 일반적으로 사용되고 있는 지표성분이다(Moschandreas, 1999).

실내공기 중의 휘발성 성분에는 휘발성 유기화합물((Volatile Organic Compound, VOC)을 비롯하여 수백여 종이 존재하고 있으며 이들 중 몇몇 성분들은 인체에 암을 유발하는 것으로 알려져 있다. 따라서 이들 성분에 대한 분석법도 다양하게 연구되었는데 그 중 일반적으로 쓰이는 방법은 흡착제를 이용하여 VOC를 흡착시킨 후 탈착시켜 GC나 GC/MS를 이용하여 분석하는 것이다. 흡착제로는 Tenax(poly(p-2, 6-diphenyl phenylene) oxide)나 다중 흡착제(Tenax-carbontrap ambersorb XE 340) 등을 사용하고 있다 또한 간편하고 간이적인 방법으로는 Snapshot(handled GC/ 광이온 감지기, Photovac)을 이용하여 실내에서 몇 가지 VOC의 농도를 측정하기도 하는데 문제는 벤젠을 비롯한 4종의 VOC만 분석할 수 있고 측정한계가 0.1 ppm에 불과하다는 단점이 있다. VOC 분석을 위한 국제 표준분석법으로는 ISO 1600-4가 있는데 이 방법은 Tenax TA 흡착제를 이용하여 VOC를 흡착시키고 열에 의해 다시 탈착시킨 후 GC/MS를 이용하거나 FID를 이용하여 분석하는 방법이다. EU에서는 공기 중의 벤젠 함량을 분석하기 위하여 용매 탈착과 GC를 이용하여 분석하는 EN 14662-5:2005 표준법을 제정하여 시행하고 있다(Sarigiannis, 2011). 실내공기 중의 니코틴 함량은 대표적인 ETS 지표성분으로, 흡연에 의한 것을 확인하는데 좋은 성분으로 필터 뱃지를 이용하여 적은 양을 분석할 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한 니코틴을 대신할 수 있는 성분으로 3-에틸 피리딘이 이용되기도 하는데, 이 성분은 흡연하는 동안 니코틴이 열 분해되어 연기 중 증기상에 존재하는 성분으로, 적은 양도 분석할 수 있고 니코틴과의 상관성이 높다는 장점이 있다

(WHO, 2004).

니코틴과 3-에틸 피리딘을 제외한 VOC 성분의 분석은 다중 흡착성 관(Tekmar, #14-1677-203 TA/SIII)을 장착한 시료 펌프(SKC Aircheck-52)를 이용 공기 중의 성분들을 포집하고 열 탈착기(Tekmar 6032)와 GC-MS를 이용하여 분석하고 있는데 분석용 컬럼은 HP5-VOC를 사용한다. 카보닐(carbonyl) 성분은 Sep-Pak 실리카겔 카트리지(Waters, Millipore Corp.)에 2,4-니트로 페닐 하이드라진(2,4-dinitro-phenyl hydrazine, DNPH)-아세토니트릴(acetonitrile, ACN) 포화용액 및 ortho-phosphoric acid를 충전하여 사용하였으며, 유입구 쪽에 요드 칼슘(potassium iodide, KI) 관을 연결하여 오존에 의한 방해를 예방하여야 하며 포집된 시료는 최종적으로 SB-C18 관과 하이드라존 자외선 감지기가 장착된 액체 크로마토그래프를 이용하여 분석한다. 지방족 및 방향족 화합물과 같은 유기성분은 디 클로르 메탄(DCM)으로 추출한 후에 방해물질을 실리카-알루미나(2:1) 관을 이용하여 액체-입자 크로마토그래피로 제거한 후에 50m HP-5 모세관 컬럼이 장착된 GC-MS 장비를 이용하여 분석하며, 분자량 이온은 99 m/z 이다.

ETS 휘발성 성분들 간의 관련성을 구명하고 이들 성분이 ETS에 기여하는 비율을 조사한 연구(Heavner et al., 1995)에 의하면 ETS 휘발성 성분들의 대표적 지표성분인인 3-에틸 피리딘과 VOC 중의 벤젠, 스타일렌은 통계적으로 유의한 관련성이 없었으며, 질소를 포함하는 성분들과의 상관계수는 높았다. 또한 VOC 성분 중 벤젠, 스타일렌, 전 VOC 함량과 실내에서의 흡연강도(흡연 담배개피수)와는 관련이 없는 것으로 나타나고 있는 반면, 3-에틸 피리딘은 흡연 강도와 높은 상관계수를 보이고 있었다. 실내환경 중 가스의 가열, 남편의 흡연 등이 실내의 벤젠 함량과 높은 상관계수를 보이고는 있으나 분석값의 편차가 30% 수준이어서 일반적인 ETS 성분의 편차인 8%를 훨씬 상회하고 있었다. 몇 가지 VOC 성분들이 ETS에 기여하는 비율을 조사한 결과를 살펴보면 전체 VOC는 5.5%, 벤젠 13.2%, 스타일렌 12.6%, 피리딘 40.7%, 2-피코린 67.1%, 3-피코린 90.1%, 4-피코린 37.2%, 3-에틸 피리딘 62% 등으로 나타났으며, 실내에서 ETS 이외의 발생원으로 인한 성분으로 리모넨, 4-클로르 에틸렌, 1,4-클로르 벤젠, 알킬벤젠 등이 확인되었다(Heavner, 1995). 실내환경에 미치는 ETS의 영향을 조사하기 위하여 37개 성분의 VOC를 대상으로 밀폐된 공간과 환기를 시킨 조건에서의 성분 분석을 실시한 연구결과(Xie, 2003)에서는 벤젠, 디-리모넨, 스타일렌, 메타-에틸 톨루엔 및 1,2,4/1,3,5-메틸벤젠 성분이 ETS와 관련성이 가장 높았으며 다른 VOC 성분들은 실내의 다른 발생원으로 인하여 ETS와의 상관성이 높게 나타나지 않았다. 특히 2,5-메틸 후란은 다른 ETS 지표성분들과 높은 상관계수를 보였으며 또한 컬런의 연소개피 수 및 종류에 따른 상관계수가 높게 나타났다. 실내환경에 따라서도 VOC 성분들은 다른 변화양상을 보이고 있는데, 밀폐된 공간에서는 디-리모넨, 스타일렌, 3-메틸벤젠 등의 감소가 급격히 이루어지는 반면 벤젠, 톨루엔, 자일렌, 에틸벤젠 등의 성분은 감소가 늦게 이루어지거나 일정기간동안 증가하는 현상을 보였다. 실내에서 ETS에 의한 VOC의 증가는 실내에서 연소시킨 컬런의 숫자에 비례하여 증가하였으며, 담배의 종류에 따라서도 달라졌지만 같은 종류의 담배에서는 비슷한 수준의 ETS 지표성분 함량을 보였다(Xie, 2003).

1990년부터 니코틴의 열분해산물인 3-에틸 피리딘이 담배관련 지표성분으로 사용되고 있는데, 이 물질은 담배연기 중의 다른 성분들과의 관련성이 높고, 니코틴에 비하여 다른 물질과의 흡착이 적은 특성을 갖고 있다. 분자량이 105.14이면서 끓는점이 162℃로 증기에 존재하면서 확산성 시료채취에 적합하며 그 함량이 주류연에 비하여 부류연에 20~40배까지 많이 존재하는 성질이 있고 상업적으로 판매하는 표준품은 없으나 쉽게 합성할 수 있는 화학물질이다. ETS의 증기상 지표성분은 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 포집하고 있는데, 직접적인 방법은 적합한 흡착제에 강제적으로 공기를 주입시켜서 포집하는 것이고, 간접적인 방법은 강제적인 공기주입이 없이 흡착제를 사용하여 포집하는 것이다. 가장 많이 사용하는 흡착제로는 XAD-4와 Tenax 등이 있으며, 니코틴의 간접적 포집에는 Tenax 열 탈착관을 사용하기도 한

Table 1. ETS 분석을 위한 시료 채취 및 전처리 방법 비교(Pandey, 2010)

Order	ETS components	Ref.
[A] Vapor-phase markers		
1. Sorption on solid sorbents		
[1] Solvent-based extraction		
XAD-4 Resin	Nicotine, 3-EP, Myosmine	[8-10,12, 13,17,39]
Passive sampling on filter badge treated with sodium bisulfate	Nicotine	[42]
Alkaline-coated solid-phase cartridge (styrene-divinylbenzene)	Nicotine	[18]
Charcoal tubes (SKC 226-01)	Nicotine and 3-EP	[21,61]
Cambridge filter disc (92 mm diameter)	Nicotine with nornine, myosmine, nicotyrine, anabasine, anabasine, and 2-3 dipyridyl	[62]
DNPH-silica cartridges	Carbunyls	[13]
Fluorocarbon-coated glass-fiber filter (Pallfles Co., USA)	PAHs	[13]
Cambridge filter pads	Aromatic amines (o-toluidine, o-anisidine, 2-napthylamine, and 4-aminobiphenyl;)	[16]
[2] Solvent-free method: Thermal desorber (TD)		
Tenax GR + Carbosieve	Nicotine, 3-EP, 2,5-DMF, aromatics, alkanes, alkenes, terpenes, phenols, and carbonyls	[19,20]
Tenax TA (35/60)	Nicotine and 3-EP	[38]
Tenax steel TA (60/80) with Chrompack (150 mg/tube)	VOCs (Toluene, m,P-xylene, limonene, benzene, furfurylaldehyde, phenol, ethylbenzene, pyridine, o-xylene, 3-picoline, styrene, and naphthalene)	[21]
Thermal desorption tubes filled with PDMS	Nicotine	[44]
Graphitized carbon black as a solid sorbent in quartz tubes	Nicotine	[43]
Tenax GC (35-60)	Nicotine	[11]
Triple sorbent traps (Carbotrap C + Carbotrap + Carbosieve S-III)	30 target VOCs	[13]
Carbopack-X tubes	1,3-butadiene and isoprene	[21]
Carbotrap (60/80)	Benzene, toluene, ethyl benzene, m,p-xylene, styrene, o-xylene, 1,3,5 TMB, and 1,2,4 TMB	[8]
2. Solid-phase microextraction (SPME)		
Active sampling on 100 μm PDMS-DVB fiber	Nicotine	[15]
Passive sampling on 100 μm PDMS-DVB fiber	Nicotine	[15]
Static sampling in HS on 65 μm PDMS-DVB fiber	Nicotine + other VOCs	[4]
[B] Particulate-phase tracers		
Fluoropore membrane filter	RSPM, UVPM, FPM, and SolPM	[8.9.12.13.39]
Tefion-coated glass-fiber filter papers	Solanesol	[14]

Table 2. ETS 성분에 따른 분석방법 비교 (Pandey, 2010)

Method	ETS component	Analytical condition/site	Ref.
[A] GC methods			
FID	Nicotine, nornicotine, myosmine, nicotyrine, anabasine, anatabine,2-3 dipyridyl, Benzene, toluene, ethyl benzene, m,p-xylene, styrene, o-xylene, 1,3,5 TMB, 1,2,4 TMB	Ambient air	[10]
	Benzene, toluene, ethyl benzene, m,p-xylene, styrene, o-xylene, 1,3,5 TMB, and 1,2,4 TMB	Indoor and outdoor urban environment (Korea)	[8]
	TVOC	Laboratory	[9]
NPD	Nicotine	Laboratory	[10]
	Nicotine and 3-에틸 피리딘	Workplace environment (Switzerland)	[12]
	Nicotine, 3-에틸 피리딘, and myosmine	Laboratory	[9]
	Nicotine	Laboratory	[13]
	Nicotine	Restaurants (USA)	[11]
MS	Nicotine	Indoor (Office) (China)	
	Nicotine	Ambient air (USA)	[15]
	Nicotine, 3-에틸 피리딘, aromatics, alkanes, alkenes	moking room of the institute (Japan)	[17] [18]
	phenol, and terpenes, and carbonyls	Laboratory (smoke of research cigarettes)	[19,20]
	2,5-dimethyl furan	Laboratory (smoke of research cigarettes)	
	솔라네졸	Passenger cars, restaurants, office rooms, urban living rooms, and rural bedrooms (China)	[19,20] [14]
	Nicotine, 3-에틸 피리딘, aromatic VOCs, 1-3	Restaurants (smoking and non-smoking areas, Finland)	[21]
	butadiene, isoprene	Laboratory	[13,16,61]
	Nicotine, 2,5-DMF, aromatic amines, 30 target VOCs	Laboratory	[13]
	PAHs		
[B] Methods other than GC			
HPLC coupled Fluorescence detector	형광 입자물질	Indoor and outdoor urban environment (Korea)	[8]
	형광 입자물질	Laboratory	[9]
	형광 입자물질	Laboratory	[13]
HPLC-UV detector	형광 입자물질	Workplace environment (Switzerland)	[12]
	Carbonyls	Laboratory	[13]
	자외선 입자물질	Indoor and outdoor urban environment (Korea)	[8]
NDIR	CO	Laboratory	[9]
Chemiluminescence Dtector	NO and NO2	Laboratory	[9]

다. 시료채취에서 공기유입의 양이 적을 경우 일정한 시간동안 시료 채취를 수행하여도 분석한계 이하의 농도를 포집하는 경우가 발생하므로 특별한 주의가 필요하다(Kuusimaki, 2006).

ETS 성분에 대한 분석법 비교

ETS 성분의 분석은 분석대상 성분의 상태, 즉 입자상, 증기상, 가스상에 따라 시료 채취방법이 달라지며, 사용하는 분석 장비도 변화되고 있다. 다음 Table 1 및 Table 2에서는 ETS 성분에 따른 시료채취방법, 전처리 방법 및 최종 분석기기에 대한 비교를 보여주고 있다.

ETS 성분의 분석에는 성분별 정량한계(Limits of quantification, LOQ)가 있으며 다음 표 3에서는 ETS 지표성분들의 분석 정량한계 및 정량한계 이하 자료의 비율을 보여주고 있다. 이러한 차이는 각 시료의 시료채취 펌프의 유속과 시간에 따라 좌우되는 것으로 보고하고 있다(Phillips, 1999).

실내 공기 성분 중에 중요한 역할을 하고 있는 것이 휘발성 유기화합물(VOC)로, 몇몇 성분들이 인체에서 암을 일으킨다고 알려져 있으며, ETS뿐만 아니라 다른 원인에 의해서 실내공기로 유입되며 "빌딩증후군"이라고 총칭되는 실내에서의 불편함, 질병의 원인물질로 지목되고 있다. ETS가 얼마나 실내공기 중의 VOC 발생에 어느 정도 기여하는지에 대한 것은 여러 가지 환경조건에 따라 달라지기 때문에 결정하는데 어려움이 있다. 톨루엔, 벤젠과 같이 분자량이 적은 화합물은 ETS 뿐만 아니라 빌딩의 건축자재, 가구, 사무실 활동, 자동차 배기가스 등에 의해서 유입될 수 있고, 건물의 환기량, 빌딩의 나이, 실내의 작업 활동, 최근에 구입한 가구 및 생활용품에 의한 환경조건에 따라서도 그 함량이 좌우되고 있기 때문이다. 이들 VOC에 대한 분석은 열 탈착 가스 크로마토그래피를 통해 이루어지는데, 적합한 고체 흡착제가 들어있는 트랩을 이용하여 시료를 채취하고, 트랩을 가스크로마토그래피와 연결시킨 후 가열하여 탈착시켜 분석한다.

열 탈착을 이용하는 분석에서 가장 일반적인 방법은 적합한 고체 흡착제가 충전되어 있는 유리나 스텐레스 카트리지 또는 트랩을 사용하는 것으로, 보통 길이가 10 cm, 내경이 1.4 cm인 규격품을 사용하고 있다. 개인용 시료채취를 위한 펌프는 공기를 분당 10 mL~200 mL를 채취할 수 있는 것을 사용하며, 시료채취 시간은 1~12시간, 전체적인 채취 부피는 5~20 L 이다. 열 탈착 온도는 250~270℃로 탈착과 동시에 가스크로마토그래피로 유입이 되어야 하며, FID가 장착된 GC/MS를 이용하여 정량 분석하는 것이 가장 일반적인 방법이다(Guerin, 1990).

Table 3. ETS 분석에 따른 성분별 정량한계치 (Phillips, 1999).

성 분	정량한계	정량한계 이하 비율(%)
호흡성 분진	21.5 μg $filter^{-1}$	26
자외선 입자물질	1.23 μg $filter^{-1}$	1
형광 입자물질	0.28 μg $filter^{-1}$	3
용해성 입자물질	0.62 μg $filter^{-1}$	57
니코틴	0.1 μg $tube^{-1}$	63
3-에틸 피리딘	0.1 μg $tube^{-1}$	67
침 코티닌	1.0 ng mL^{-1}	57

사 사

본 논문은 KT&G 연구원의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 인사를 드립니다,

참 고 문 헌

Bi, Xinhui, et al.(2005) Gas and particulate phase specific tracer and toxic organic compounds in environmental tobacco smoke. *Chemosphere* 61: 1512-1522

Castro, Dionisia, et al., "Polycyclic aromatic hydrocarbons in gas and particulate phases

of indoor environments influenced by tobacco smoke: levels phase distributions and health risks" *Atmospheric environment 45*, 2011, pp1799-1808

Chalbot, Marie-Cecile, et al., "Environmental tobacco smoke aerosol in non-smoking households of patients with chromic resporatory diseases", *Atmospheric Environment* 62, 2012, pp82-88

Guerin, M. R., R.A. Jenkins and B. A. Tomkins, "The chemistry of environmental tobacco smoke: Composition and Measurement" Lewis Publishers, 1992

Kuusimaki, Leea, et al., "A modified method for diffusive monitoring of 3-ethenypyridine as a specific marker of enviromnental tobacco smoke" *Atmospheric Environment* 40, 2006, pp2882-2892

Moschandreas, D. J., and K. L. Vuilleumier, "ETS levels in hospitality environments satisfying ASHRAE standard 62-1989: Ventilation for acceptable indoor air quality", *atmospheric Environmental* 33, 1999, pp4327-4340

Pandey, Sudhir Kumar, and Ki-Hyun Kim, "A review of environmental tobacco smoke and its determination in air", *Trends on Analytical Chemistry*, 29(8), 2010, pp804-819

Paoletti L., et al., "Influence of tobacco smoke on indoor PM10 particulate matter characteristics", *Atmospheric Environment* 40, 2006, pp3269-3280

Phillips, K., et al., "Assessment of environmental tobacco smoke and respirable suspended particle exposures for nonsmokers in Basel by personal monitoring" *Atmospheric Environment* 33, 1999 pp1889-1904

Sarigiannis, Dimosthenis A., Spyros P. Karakitsios, et al. "Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk", *Environment International* 37, 2011, pp743-765

WHO, "Tobacco smoke and involuntary smoking" *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans,* 83, 2004

Xie, Juexin, et al., "Determination of tobacco smoking influence on volatile organic compounds constituent by indoor tobacco smoking simulation experiment", *Atmospheric environment* 37, 2003, pp3365-3374