담배유형별 흡연자의 호기 내 성분분석 조사 시범연구

조영환¹ · 김형용²
이점규² · 김승현^{2*}

¹건강위해대응과, 건강위해대응관, 만성질환관리국, 질병관리청, ²호흡기·알레르기질환연구과, 만성질환융복합연구부, 국립보건연구원, 질병관리청

접수일 : 2021년 4월 16일
수정일 : 2021년 6월 6일
승인일 : 2021년 6월 8일

*교신저자 : 김승현
호흡기·알레르기질환연구과,
만성질환융복합연구부,
국립보건연구원, 질병관리청
E-mail: shkims00@korea.kr

ORCID:
<https://orcid.org/0000-0001-5527-6846>

Pilot Study on the Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Exhaled Breath of Each Cigarette Type

Young Hwan Cho¹, Hyoung Yong Kim², Jeom Kyu Lee², Seung Hyun Kim^{2*}

¹Division of Health Hazard Response, Director General for Health Hazard Response, Bureau of Chronic Disease Prevention and Control, Korea Disease Control and Prevention Agency, ²Division of Allergy and Respiratory Disease Research, Department of Chronic Disease Convergence Research, National Institute of Health, Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea

Background: Since the indoor environments where most modern people live have little space, there is a possibility of exposure to harmful components of smokers' breaths. Thus, it is necessary to investigate the volatile organic compounds (VOCs) that can affect secondhand smoking by analyzing the components of exhaled smoke.

Methods: From August 2019 to March 2020, 30 smokers and 10 nonsmokers were recruited in the Osong Life Science Complex. For exhaled breath collection, a tedlar bag (1 L) for breath-gas analysis was used. Carbon monoxide (CO) was measured during the collection, and VOCs were analyzed by thermal desorption-gas chromatography/mass spectrometry after pretreatment.

Results: According to exhaled breath analysis, pyridine, 2-methylfuran, and benzene were detected at a high frequency only in smokers, whereas 2-methylfuran and pyridine were detected in all cigarette and heated tobacco product (HTP) users. The amounts of 2-methylfuran, benzene, isoprene, pyridine, toluene, and pyrrole in exhaled breaths after smoking were significantly greater than in those before smoking. Based on the measured CO, it was difficult to distinguish nonsmokers, HTP users, and electronic cigarette users.

Conclusion: These results demonstrated that 2-methylfuran and pyridine can possibly be used as indicators of smoking status. In addition, secondhand smoking can potentially be evaluated by detecting the VOCs in the exhaled breaths of HTP users. However, further studies on these compounds are warranted to confirm this possibility.

Key Words: Indoor air quality; Secondhand smoking; Tobacco product; Exhalations; Volatile organic compounds

Copyright © 2021 by The Korean Society for Research on Nicotine and Tobacco.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

배 경

우리나라의 흡연율은 2019년 전체 21.5% (남성 35.7%, 여성 6.7%)에 이른다. 금연광고 및 홍보, 금연교육 및 상담 등 국가 차원의 다양한 금연지원 서비스 노력으로 전체 흡연율은 감소 추세에 있으나 아이코스, 릴 등 다양한 신종담배의 판매가 이루어진 2018년 기준 청소년(여) 및 여성 흡연율의 증가가 확인되었고, (e-나라지표) 최근 줄 등과 같이 껴련담배의 전형적인 모습을 하지 않은 다양한 형태의 전자담배 기기가 개발·유통되고 있다.(1) 이와 같은 신종담배의 등장으로 기존 껴련담배 사용자는 복합사용자가 되어 금연의지를 방해받을 수 있으며, 여전히 약 20%대를 유지하는 흡연율로 비추어보아 간접흡연의 피해는 계속 일어날 수 있다(e-나라지표). 간접흡연은 흡연자의 높은 밀도(흡연구역 주변 등), 밀폐된 공간(엘리베이터 내부 등), 낮은 바람 조건뿐만 아니라 ‘흡연자와의 근접성’에도 영향을 받을 수 있다.(2)

Surgeon General 보고서(2006, 2014)에 따르면 간접흡연은 폐암, 간암, 대장암을 비롯하여 천식 악화, 심혈관질환, 만성 폐쇄성 폐질환(COPD), 뇌졸중, 면역기능 손상, 염증 유발, 결핵 악화, 선천성 기형, 자궁외 임신, 남성 성기능 저하, 안구질환, 당뇨병, 자가면역질환, 류마티스 관절염 등 다양한 질병을 야기할 수 있다.(3,4)

간접흡연 관련 연구로, 흡연구역으로부터의 거리에 따른 연기노출 PM_{2.5} 측정,(5)과 카페·레스토랑의 실내·외 간접흡연 노출에 따른 니코틴 분석,(6) 등이 수행되었고, 2017-2018년 유럽에서는 껴련담배 뿐 아니라, ‘전자담배’에 의한 간접흡연 영향 조사연구가 이루어졌다.(7) 또한, 신종담배인 아이코스 등 가열담배의 배출물 내 성분분석 연구가 지속되고 있으며, toluene, pyridine 등이 확인되었다.(8,9)

Torres S 등(2018)은 간접흡연 등 담배 배출물 노출에 따른 바이오마커 연구를 호기(exhaled breath, 날숨이라고도 함), 머리카락(hair), 혈액(blood), 침(saliva), 피부(skin), 소변(urine)으로 구분하여, 날숨에서는 일산화탄소(CO), 머리카락에서는 nicotine, cotinine, N-nitrosornicotine (NNN), 4-(methylnitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone (NNK)을 조사하였고, 혈액에서 nicotine, cotinine, cadmium, lead, carboxyhemoglobin, 침에서 nicotine, cotinine, NNN, NNK, 4-(methylnitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanol (NNAL, NNK의 대사체) 등을 분석하였다. 이 중 NNN, NNK는

1급 발암물질로 담배특이니트로사민류(Tobacco-specific nitrosamines)로 분류된다. 또한 피부에서는 nicotine, 소변에서는 nicotine, cotinine, trans-3'-hydroxycotinine, NNAL, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) biomarkers, volatile organic compounds (VOCs) biomarkers, cadmium 등이 활용되었다.(10) 호기의 경우는 흡연자와 비흡연자의 호기 내 휘발성 유기화합물(VOCs)을 비교 분석하거나,(11-14) 숨(breath) 중 호기 내 CO 측정을 통해 흡연상태를 확인한 연구가 있었고,(15) 호기 내 폐암의 바이오마커 관련 연구도 진행된 바 있다.(16,17) 흡연자의 호기에서는 Isoprene, 1,3-pentadiene, 2-butanone, 2-methylfuran, benzene, 2-pentanone, cyclopentanol, toluene, 1-butanol, pyridine, 1-pentanol, pyrrole 등이 검출되었으며, benzene과 같은 1급 발암물질도 포함되어 있었다.(11)

흡연자의 호기는 비흡연자가 흡연자의 내뿜은 담배 연기를 마시는 2차 간접흡연에 해당된다. 현재 비흡연자의 건강을 위협하는 간접흡연을 방지하기 위해 흡연구역(smoking zone) 등을 별도로 운영하고 있지만 실생활 속에서는 흡연자가 흡연 후 실내에 돌아와 호흡할 때 발생하는 호기로 인한 간접흡연이 발생할 수 있다. 호기 내에 포함된 담배 성분에는 후각으로 쉽게 감지되는 것과 감지되지 않는 것이 있으며, 그 중에는 후각을 통해 불쾌감을 주거나 건강에 유해한 성분이 있다.

이번 연구에서는 흡연자의 호기 내 휘발성유기화합물(VOCs) 성분을 조사하기 위해, 흡연자 30명을 모집하였고, 흡연자가 사용하는 담배유형을 고려하여 껴련담배, 가열담배, 액상형 전자담배, 복합 사용자 등으로 구분하여 비교하였다. 우리는 이 연구를 통해 호기에 의한 2차 간접흡연 가능성분(VOCs 등)을 확인하고자 하였다.

방 법

1. 조사대상

본 연구는 질병관리청 IRB 기관생명윤리위원회 승인을 받아 2019년 8월부터 2020년 3월까지 충북 청주시 소재 오송생명과학단지 내 만 19세 이상 65세 이하 성인 남녀를 대상으로 흡연자 및 비흡연자를 모집하여 실시하였다(IRB no.: 2019-05-03). 흡연자군은 총 30명으로 평균 나이는 41세이며 모두 남성이고, 비흡연자군은 총 10명으로 평균 나이는 43세이며 남성 4명, 여성 6명으로 구성되었다(표 1).

2. 담배 유형조사

흡연자군의 담배유형을 조사하기 위해 설문조사를 진행하였고, 설문문항에는 출생년도, 성별, 흡연빈도, 담배 제품명, 마지막 흡연 후 경과시간 등이 있었으며 대면조사 방식으로 연구대상자가 직접 작성하도록 하였다. 비흡연자군은 출생년도와 성별만 확인하였다. 표 2에서 보여주듯, 설문 결과 흡연자의 모집 기준은 최근 1달 이내 흡연 경험이 있는 경우였으나, 실제 참가자는 평균 1-8시간 이전의 흡연 경험이 있었다. 복합사용자 5명 중 4명은 궐련담배와 가열담배 이중사용자였고 나머지 1명은 액상형 전자담배와 가열담배 이중사용자였다.

Table 1. Basic characteristics of sample donators in this research period.

	Smokers		Non-smokers	
	N	%	N	%
Overall	30	100	10	100
Age (years)				
≤30	2	7	2	20
31-50	23	76	6	60
> 50	5	17	2	20
Sex				
Male	30	100	4	40
Female	0	0	6	60
Smoking type				
Cigarette	11	37	-	-
Heated Tobacco Product (HTP)	12	40	-	-
E-cigarette	2	7	-	-
Dual user	5	16	-	-
Cigarette + HTP	4	13		
E-cigarette + HTP	1	3		

3. 호기 채취 및 CO 측정

흡연 후의 호기를 분석하기 위해 흡연 직전, 흡연 후 1분 이내, 10분, 20분 내외 등 총 4회 채취하였고, 채취를 위해 SKC Inc. (Eighty Four, USA)의 1회용 breath-gas 분석용 tedlar bag (1 L)을 사용하였으며, 새 제품이지만 사용 전 극미량 존재할 수 있는 잔류성분까지 제거하기 위해 고순도 질소로 충분히 세척하였으며 깨끗한 세척상태를 고순도 질소를 넣은 시료분석을 통해 확인하였다. 대상자는 비흡연자 10명, 흡연자 30명(궐련담배 사용자 11명, 가열담배 사용자 12명, 액상형 전자담배 사용자 2명, 복합 사용자 5명)으로 채취시 Bedford (Maidstone, England)의 CO 측정기(All new Micro + ADV Smokerlyzer)로 CO를 측정하였다.

4. 호기 내 성분분석 및 통계분석

호기 내 성분분석 대상 물질들은 휘발성이 높은 isoprene, 2-methylfuran, benzene, toluene 등 VOCs를 중심으로 선정하였고, 각 성분의 표준물질 농도가 표기된 제품을 우선 선택하였다. 본 연구에 분석항목 희석용매로 사용된 메탄올은 Fisher (Hampton, USA) 제품을 사용하였고, 내부표준물질(internal standard, IS)을 포함한 각종 표준물질들은 유효기간 내의 Merck (Darmstadt, Germany), SPEX Certiprep. (Metuchen, USA), Accustandard (New Haven, USA), TCI (Tokyo, Japan) 등의 제품을 사용하였다. 제조사별로 나누어보았을 때 Merck 표준품은 cis-3-hexen-1-ol, pyrrole, 2-pentanone, cyclopentanol, 1,3-pentadiene이었고, SPEX Certiprep. 표준품은 1-pentanol, isoprene, 1-butanol, 2-butanone이었다. Accustandard 표준품은 benzene-d6, toluene, benzene, pyridine이었고, TCI 표준품은 2-methylfuran이었다. 본 연

Table 2. Smokers' self-reported questionnaire responses describing smoking habits.

Smoking type	Smoking frequency (times/day)	Time since smoked (hour)	Smoking product
	Average ± SD (range)	Average ± SD (range)	
Cigarette (n = 11)	13.3 ± 7.2 (6-30)	1.4 ± 0.6 (0.5-2.5)	ESSE (3), Bohem Cigar (3), TheOne, Raison (2), Marl boro gold, Dunhill
Heated Tobacco Products (HTP) (n = 12)	11.4 ± 6.1 (3-20)	1.8 ± 1.4 (0.5-6)	iQos (9), lil, glo (2)
E-cigarette (n = 2)	7.5 ± 3.5 (5-10)	1.5 ± 0.7 (1-2)	Voopoo, Caliburn
Dual user Cigarette + HTP (n = 4)	5.8 ± 5.3 (1-13): Cigarette 5.5 ± 3.7 (1-10): HTP	8.3 ± 10.9 (0.1-24)	Raison (3), Marlboro hybrid
Dual user E-cigarette + HTP (n = 1)	20: E-cigarette 15: HTP	2.5	iQos (3), lil Monster glo

Table 3. The analysis-range and frequency of analytes in exhaled breath (maximum value within 20 minutes including just before smoking).

Class	Compound	Smokers, n = 30 (mg/m ³)					Non smokers, n = 10 (mg/m ³)	P-value* (smokers vs. non-smokers)
		Cigarette, n = 11	HTPs, n = 12	E-cigarette, n = 2	Dual user, n = 5	Total		
Alcohols	1-Butanol	0.00-0.02 (4/36%)	ND (0/0%)	ND (0/0%)	0.05 (1/20%)	0-0.05 (5/17%)	ND (0/0%)	0.183
	1-Pentanol	0.00-0.01 (2/18%)	0.00-0.01 (1/8%)	0.00-0.01 (1/50%)	ND (0/0%)	0-0.01 (4/13%)	ND (0/0%)	0.242
	Cyclopentanol	0.00-0.01 (1/9%)	0.00-0.01 (1/8%)	ND (0/0%)	0.00-0.01 (1/20%)	0-0.01 (3/10%)	ND (0/0%)	0.321
	Cis-3-hexen-1-ol	ND (0/0%)	0.00-0.04 (2/17%)	0.00-0.04 (1/50%)	0.00-0.13 (1/20%)	0-0.13 (4/13%)	ND (0/0%)	0.242
Alkenes	Isoprene	0.69-11.25 (11/100%)	0.30-1.78 (12/100%)	0.51-0.74 (2/100%)	0.42-7.87 (5/100%)	0.30-11.25 (30/100%)	0.28-1.22 (10/100%)	0.014
	(trans)1,3-Pentadiene	ND (0/0%)	ND (0/0%)	ND (0/0%)	ND (0/0%)	ND (0/0%)	ND (0/0%)	NA
Aromatics	Benzene	0.04-0.65 (11/100%)	0.00-0.15 (8/67%)	0.00-0.12 (1/50%)	0.00-0.27 (4/80%)	0-0.65 (24/80%)	ND (0/0%)	< 0.001
	Toluene	0.00-0.71 (10/91%)	0.00-0.09 (6/50%)	0.00-0.07 (1/50%)	0.00-0.26 (4/80%)	0-0.71 (21/70%)	ND (0/0%)	< 0.001
	Pyridine	0.01-0.30 (11/100%)	0.01-0.06 (12/100%)	ND (0/0%)	0.02-0.16 (5/100%)	0-0.30 (28/93%)	ND (0/0%)	< 0.001
	Pyrrole	0.00-0.26 (8/73%)	0.00-0.03 (9/75%)	ND (0/0%)	0.00-0.08 (4/80%)	0-0.26 (21/70%)	ND (0/0%)	< 0.001
Furans	2-Methylfuran	0.03-0.49 (11/100%)	0.01-0.03 (12/100%)	0.00-0.01 (1/50%)	0.01-0.24 (5/100%)	0-0.49 (29/97%)	ND (0/0%)	< 0.001
Ketones	2-Butanone	0.00-1.88 (10/91%)	ND (0/0%)	ND (0/0%)	0.00-1.25 (3/60%)	0-1.88 (13/43%)	ND (0/0%)	0.015
	2-Pentanone	ND (0/0%)	ND (0/0%)	ND (0/0%)	ND (0/0%)	ND (0/0%)	ND (0/0%)	NA

(n/%), (detected number/frequency); LOQ (mg/m³); isoprene 0.015, (trans) 1,3-pentadiene < 2.0, 2-methylfuran 0.005, 2-butanone 0.115, benzene 0.115, 2-pentanone 0.018, toluene 0.038, 1-butanol 0.019, pyridine 0.008, 1-pentanol 0.007, cyclopentanol 0.006, cis-3-hexen-1-ol 0.019, pyrrole 0.010; ND, < LOQ; NA, not available. * Non-parametric wilcoxon rank sum test.

구에서는 시료채취 및 전처리·분석과정을 대기오염공정시험 기준〈고체흡착법〉 및 관련 국외문헌들을 참고하여(12,18,19) 정립하였다. 포집한 호기가 담겨있는 tedlar bag을 TD tube (Tenax TA+Carbopack X)에 연결하여 흡착시킨 다음 해당 tube를 밀봉하여 분석전까지 냉장보관하였다. 포집시료 내 성분 흡착시 대상물질별 TD tube (고체흡착튜브)의 파과부피 (breakthrough volume)를 고려하였고, TD tube는 200 °C 이상의 온도에서 충분히 가열하여 세척 후 사용하였다. 호기 내 성분들은 Thermal Desorption (TD) 전처리장비인 MARKES Ultra-xr (Liantrisant, England)를 이용하여 열탈착 후 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)로 분석하였다. GC-MS는 Agilent 7890B/5977A MSD (Palo Alto, CA, USA)를 사용하였고, Selected Ion Monitoring (SIM) 모드로 분석하였다. 컬럼은 DB-WAX (30 m×0.25 mm I.D×0.5 µm, film thickness)를 사용하였고, 총 분석시간은 26분이었으며, 시료 분석 시마다 고순도 질소를 담은 공시료(blank sample) 분석값을 고려하였다. 그리고 미국환경보호청(EPA) 시험기관 등에서 따르는 방법에 준하여 검출한계(the limit of detection, LOD)와 정량한계(the limit of quantitation, LOQ)를 산출하여 적용하였다. 통계분석은 R 프로그램을 이용하여 비모수검정 (nonparametric test)을 수행하였다.

결 과

30명의 흡연자의 호기 내 성분별 분석결과(흡연 전, 후 0, 10, 20분 중 최대값)와 10명의 비흡연자의 호기 내 성분별 분석결과를 표 3에 나타내었다. 표 3은 흡연자 및 비흡연자의 성분별 검출 수준은 평균값의 범위와 빈도수로 표기했다. Isoprene은 신진 대사로부터 발생하는 주요 호흡가스로 분석항목 중 유일하게 흡연자, 비흡연자 모두에서 검출되었으며 검출된 농도수준도 가장 높았다. (trans)1,3-pentadiene와 2-pentanone은 전 대상자에서 검출되지 않았으며 흡연자에서의 검출농도 수준(평균값 기준)을 내림차순으로 정리하면 isoprene, 2-butanone, benzene, toluene, 2-methylfuran, pyridine, pyrrole, cis-3-hexen-1-ol, 1-butanol, cyclopentanol, 1-pentanol 순이었다(표 3).

또한, 분석항목 중 cis-3-hexen-1-ol의 경우 궐련담배 사용자 그룹에서 pyridine과 pyrrole, cyclopentanol은 액상형 전자담배 그룹에서, 그리고 2-butanone은 가열담배 및 액상형 전자담배 사용자 그룹에서 불검출(ND)되었다. 반면, 1-butanol

은 궐련담배 사용자(복합사용자 포함) 그룹에서만 검출되었다(표 3).

호기 내 성분분석 대상 물질 중 호기 내에 검출빈도가 높은 2-methylfuran, benzene, isoprene, pyridine을 대상으로 비흡연자와 검출농도를 비교한 결과, 전체흡연자의 호기 내 검출농도는 비흡연자보다 유의(wilcoxon rank sum test, $P < 0.05$)하게 높았고, 특히 궐련담배 사용자의 평균 검출 농도는 전체 흡연자의 평균보다 모두 높았다. 또한, 비흡연자와 담배유형에 따른 흡연 그룹간 유의한 차이가 있음을 크루스칼왈리스 검정(Kruskal-Wallis test)으로 확인하고, 비흡연자와 각 담배유형별 차이를 윌콕슨 순위합 검정(Wilcoxon rank sum test)과 벤자민-호치버그 교정(Benjamin-Hochberg correction)을 통해 확인한 결과, 궐련담배 사용자의 경우에는 비흡연자에 비해 4개의 검출빈도가 높은 물질에서 모두 유의한 차이가 확인되었고, 액상형 전자담배 사용자의 경우에는 그 차이를 확인할 수 없었다. 가열담배 사용자와 복합사용자는 2-methylfuran, benzene, pyridine에서만 유의한 차이가 나타났다(그림 1).

다음으로는 흡연자의 흡연 전 호기와 흡연 후 20분 이내 호기의 최대 검출농도를 윌콕슨 부호순위검정(Wilcoxon signed rank test)으로 비교하였다. 2-methylfuran, benzene, isoprene, pyridine은 모두 흡연 전보다 흡연 후에 유의($P < 0.001$)하게 증가하였다(그림 2).

측정 대상물질 중 검출빈도가 높았던 2-methylfuran, benzene, isoprene, pyridine의 흡연자의 흡연 전후의 호기내 검출 농도를 각 담배유형별로 살펴본 결과, 액상형 전자담배사용자와 복합사용자의 경우에는 모두 유의성을 확인할 수 없었으며 ($P > 0.05$), 궐련담배 사용자는 4개의 물질이 모두 흡연 전에 비해 유의($P = 0.00098$)하게 증가하였다. 가열담배 사용자는 benzene ($P = 0.44$)을 제외한 나머지 3개의 물질에서는 흡연 후 유의하게 증가하는 것을 확인하였다(그림 3).

고 찰

최근에는 아이코스 등 담배스틱을 가열하는 방식의 '가열담배(궐련형 전자담배)'와 프로펠렌글리콜과 글리세롤을 용매로 사용하는 액상을 가열하여 에어로졸화하여 흡입하는 '액상형 전자담배'를 다양한 연령층의 흡연자가 사용하고 있다. 일반담배는 담배에 불을 붙여 800°C 정도로 연소시켜 발생하는 연기(주류연)를 흡입하는 방식이지만, 가열담배 또는 액상형 전자담배

Figure 1. The comparison of analytes' amount in exhaled breath according to smoking type (maximum value within 20 minutes including just before smoking). *Total, total smokers; Cig, commercial cigarette user; HTP, heated tobacco product (iQos etc.) user; eCig, electronic cigarette user; Dual, Dual-user; NS, non smokers. *P<0.05, **P<0.01, ***P<0.005; Wilcoxon rank sum test, P value adjustment method: BH.

Figure 2. The differences in detection analytes due to smoking (maximum value within 20 minutes). Before, just before smoking; After, after smoking.

Figure 3. The comparisons of benzene and isoprene amount in exhaled breath of HTP users (maximum value within 20 minutes). Before, Just before smoking; After, after smoking.

Table 4. The distributions of CO in exhaled breath according to smoking type.

Smoking type	N	CO (ppm)		
		≤4	5-10	> 10
Non-smoker	10	10	0	0
Cigarette	11	0	6	5
Heated tobacco products	12	11	1	0
E-cigarette	2	2	0	0
Dual user	5	3	1	1

는 일반담배보다 상대적으로 낮은 온도(~350℃)로 담배스틱 또는 액상을 가열하여 발생하는 에어로졸 등을 흡입하는 방식을 선택하고 있다. 따라서 일반 쉐련담배는 연소에 의한 생성물을, 전자담배는 가열에 의한 생성물을 흡입하는 차이가 있다.

이번 연구에서 가열담배(=쉐련형 전자담배), 쉐련담배, 액상형 전자담배, 복합 사용자 등 4가지 담배유형별 흡연자(n=30)와 비흡연자(n=10)를 모집하여 일산화탄소(CO) 농도를 측정된 결과, 전체흡연자와 비흡연자 간의 차이가 있음(wilcoxon rank sum test, P<0.005)을 확인하였고, 쉐련담배 사용자와 그 외 그룹들간에 분명한 값 분포 차이를 보였다. 액상형 전자담배 사

용자 그룹에서는 비흡연자와 비슷한 수준인 1-2 ppm 수준의 CO 농도가 측정되었고, 가열담배 사용자 등에서는 비흡연자와 비슷하거나 약간 높은 수준인 1-5 ppm 수준이었다. 반면, 쉐련담배 사용자의 경우 CO농도가 최대 31 ppm까지 나왔다. CO 측정은 흡연 직전, 흡연 후 20분 내외에 각각 측정하였고 전·후의 값차이는 흡연자 그룹에서 0-4 ppm 범위를 보였는데 쉐련담배 사용자 그룹에서만 3-4 ppm 정도의 차이를 보일 뿐, 그 외의 담배유형에서는 0-2 ppm 차이로 적게 나타났다. 표 4와 같이 쉐련담배 흡연자의 경우에는 CO 검출수준이 최소 5 ppm 이상으로 높았으나 비흡연자(1-2 ppm), 가열담배 흡연자(1-5 ppm), 액상형 전자담배 흡연자(1-2 ppm) 그룹의 경우 값이 상대적으로 낮았으며 이들 그룹간 차이도 거의 없었다(표 4). 따라서 CO 측정값으로 비흡연자, 가열담배 및 액상형 전자담배 사용자를 명확히 구분하기는 어려울 것으로 판단되며, 이와 같은 측정결과들은 쉐련담배와 비교하여 가열담배 및 액상형 전자담배의 배출물 내 CO가 100배 수준 또는 그 이상 낮게 검출되는 것과 연관 있다.(20,21)

국외 연구결과에 따르면, 흡연자의 호기 내 isoprene, 2-methylfuran, benzene, pyridine 농도범위는 각각 0-2.29,

0-0.03, 0-0.11, 0-0.07 mg/m³이었다.(11) 이는 본 연구에서 산출한농도인 0.69-11.25, 0.03-0.49, 0.04-0.65, 0.01-0.30 mg/m³ (표 3)에 비해 비교적 낮은 수준으로, 그 이유로 국외의 경우 심한 흡연자(heavy smoker, ≥ 10 cigarettes/day)가 연구대상자 중 없었으며, 호기 측정을 흡연 후 1시간 경과 후 진행하였기 때문으로 판단된다. 이번 연구에서는 대상자 중 심한흡연자가 다수 포함되어있었고, 호기 측정을 흡연 후 20분 이내로 진행하였다. 이 결과로 미루어 호기 내 유해성분 양은 흡연 후 경과시간에 따라 감소할 가능성이 있다. 특히 2-methylfuran, benzene, pyridine은 담배유형 중 쥘련담배 사용자의 호기에서 다른 분석항목에 비해 높은 수치로 확인되었는데, 해당 성분들은 모두 쥘련담배 배출물 내 존재하는 것으로 알려져 있다.(22)

본 연구에서 호기 내 검출된 성분은 근접거리나 밀폐된 실내에서 호기를 통해 전달할 수 있는 물질로, 흡연자의 흡연 후유의 하게 증가하는 물질은 비흡연자에게 간접흡연의 영향을 줄 가능성이 제기된다. 검출된 분석항목 중 발암성 정보가 있는 성분은 isoprene (IARC 2B), benzene (IARC 1), toluene (IARC 3), pyridine (IARC 3) 총 4종이 있고, 이외 성분들도 물질안전보건자료(MSDS)에 따르면 2-methylfuran은 급성독성(흡입:증기)이 있고, 2-butanone은 눈·호흡기계 자극을 줄 수 있으며, 1-butanol, 1-pentanol, cyclopentanol, cis-3-hexen-1-ol, pyrrole 등은 피부·눈 자극을 줄 수 있다. 표 3과 같이 분석항목 중 흡연자의 호기에서만 90% 이상의 높은 검출빈도를 보인 2-methylfuran, pyridine 등은 액상형 전자담배를 제외한 쥘련담배, 가열담배 및 복합 사용자 그룹에서 100% 검출되었다 (표 3). 앞선 연구에서는 흡연에 따른 호기 바이오마커로 nonanal,(14) 폐암을 판별하는 호기 바이오마커로 1-butanol, 3-hydroxy-2-butanone 등이 확인된 바 있다.(17)

이번 연구를 통해 쥘련 및 가열담배 사용자(복합 사용자 포함)의 경우에 2-methylfuran, pyridine이 100% 검출이 확인되어 해당성분들의 검출여부에 따라 흡연자 중 쥘련 및 가열담배 사용자구분이가능하였다. 그러나benzene의 경우는2-methylfuran, pyridine이 가열담배 67%, 액상형 전자담배 50%, 복합사용자 80%에서 검출되어 명확한 구분이 어려웠으며, isoprene은 담배 전 유형에서 모두 100% 검출되었지만 비흡연자 또한 검출되어, 두 성분 모두 흡연자의 특이적인 분별 물질로 적합하지 않았다. 2-Methylfuran의 경우 쥘련(표준)담배 주류연에서 175 µg/item이 검출되었고, pyridine의 경우 쥘련(표준)담배 주류연에서 68.4 µg/item이 검출되었으며, item은 cigarette 또는 heat-

ed tobacco “stick”을 의미한다.(23) 본 연구 호기에서의 2-methylfuran 최대값 0.49 mg/m³, pyridine 최대값 0.30 mg/m³ 임을 미루어 흡입한 주류연 내 성분 양에 의해 호기 내 같은 성분 양 증가에 영향을 줄 수 있음이 확인된다.

호기의 경우 숨의 채취시점(초기 날숨, 중간 날숨, 마지막 날숨 등) 또는 내뿜는 방식(얇고 짧은 날숨, 깊고 긴 날숨 등)에 따라 호기 내 성분 조성(종류, 양 등)이 달라질 수 있으나 시료 제공자의 편의를 고려하여 주로 편안히 내뿜는 방식으로 숨을 채취하였다. 흡연자(흡연 전·후) 및 비흡연자 호기를 받아 그 안에 들어있는 성분의 양을 비교하고 간접흡연의 가능성을 확인하는 연구목적에는 영향을 거의 미치지 않은 것으로 사료된다. 그러나 시료대상자 모집과정에서 액상형 전자담배 그룹(n=2)과 복합 사용자 그룹(n=5)의 수가 적어 담배유형별 호기 내 성분비교 결과 해석에 한계가 다소 존재하였다. 그리고 복합사용자 중에서 쥘련담배+가열담배 이중사용자가 4명, 가열담배+액상형 전자담배 이중사용자가 1명인데 이들의 값을 복합사용자로 합쳐서 지칭하기에는 쥘련담배 사용 유무에 따라 편차가 발생되어 복합 사용자 중에서도 여러 조합에 따라 결과가 달라질 수 있는 한계가 있다.

본 연구는 흡연 후 경과시간(흡연직전-흡연 후 20분)에 따른 호기 내 성분 양을 확인하였고, 흡연여부 판별지표로 기존 호기 내 일산화탄소를 포함하여 휘발성 유기화합물을 추가하여 연구를 수행하였다. 호기와 관련하여 가열담배, 액상형 전자담배를 포함한 다양한 담배유형을 적용한 연구사례는 아직 보고된 바 없으며, 우리 연구는특히가열담배또한2-methylfuran, isoprene, pyridine 등이 흡연 전후에서 유의미한 양 차이를 보이는 것을 밝혀냈다. 이번 결과는 2-methylfuran, pyridine이 흡연 여부의 판별지표로 활용될 수 있는 가능성을 보여주었으며, 쥘련 뿐 아니라 가열담배 등 신종담배 흡연자의 호기 또한 간접흡연을 일으킬 수 있음을 다시 확인시켜 주는 결과였다.

감사의 글

본 논문은 질병관리청 흡연폐해예방을 위한 조사연구사업 (3335-305)의 일환으로 ‘흡연자의 호기 내 유해성분 분석 및 생체지표 탐색 시범연구’에서 수집 분석한 자료를 기반으로 작성되었습니다.

요 약

연구배경: 현대인들이 주로 생활하는 실내 환경은 사람들과의 간격이 대체로 좁은 편이라 흡연자의 호흡으로 인해 유해성분에 노출될 가능성이 있으므로 흡연 후 호기 내 성분분석을 통해 호기에 의해 2차 간접흡연이 가능한 VOCs 성분을 확인할 필요가 있다.

방법: 2019년 8월-2020년 3월 기간동안 오송생명과학단지(충북 청주시 소재) 내 만19세 이상 65세 이하 성인 남녀 흡연자를 대상으로 흡연자 30명, 비흡연자 10명의 호기를 포집하고 설문 조사를 실시하였다. 시료채취를 위해 breath-gas 분석용 ted-lar bag (1 L)을 사용하였으며, 흡연자 30명 중에는 궤련담배 사용자 11명, 가열담배 사용자 12명, 액상형 전자담배 사용자 2명, 복합 사용자 5명이었다. 채취시 일산화탄소(CO)를 측정하였고, 전처리 후 열탈착-가스크로마토그래피 질량분석법(TD-GC/MS)으로 휘발성 유기화합물을 분석하였다.

결과: 호기 분석결과, 흡연자 중에서 2-methylfuran, pyridine, benzene 등이 높은 빈도(80% 이상)로 검출되었으며, 특히 2-methylfuran, pyridine 등은 궤련담배 및 가열담배 사용자의 경우 100% 검출되었다. 흡연 전·후의 호기 내 2-methylfuran, benzene, isoprene, pyridine, toluene, pyrrole 양을 비교하였을 때, 흡연 전보다 후에서 확연히 많은 양이 확인되었다. CO 측정결과, 비흡연자, 가열담배 흡연자 및 액상형 전자담배 흡연자 간의 구분이 어려웠다.

결론: 담배유형별 흡연자로부터의 호기 내 성분 분석한 결과, 2-methylfuran과 pyridine은 흡연 여부에 따라 차이를 보여 흡연여부 판별지표로 활용할 가능성이 있다. 더구나 가열담배 흡연자의 호기에서도 검출이 되어 있어 이로 인한 간접흡연의 가능성도 있다. 따라서 본 연구에서 제시할 가능성을 입증할 수 있도록 앞으로 이들 물질에 대한 추가 연구가 필요하다.

중심단어: 실내공기질; 간접흡연; 담배제품; 호기; 휘발성 유기화합물

References

- Rammamurthi D, Chau C, Jackler RK. JUUL and other stealth vaporisers: hiding the habit from parents and teachers. *Tob Control*. 2019; 28: 610-6.
- Sureda X, Fernandez E, Lopez MJ, Nebot M. Secondhand Tobacco Smoke Exposure in Open and Semi-Open Settings: A Systematic Review. *Environ. Health Perspect*. 2013; 121(7): 766-73.
- U.S. Dept. of Health and Human Services. The health consequences of involuntary exposure to tobacco smoke: A Report of the Surgeon General. Centers for Disease Control and Prevention. 2006.
- U.S. Dept. of Health and Human Services. The Health Consequences of Smoking—50 Years of Progress: A Report of the Surgeon General. Centers for Disease Control and Prevention. 2014.
- Hwang J, Lee K. Determination of Outdoor Tobacco Smoke Exposure by Distance From a Smoking Source. *Nicotine Tob. Res*. 2014; 16(4): 478-84.
- Fu M, Fernandez E, Martinez-Sanchez JM, Emeterio NS, Quiros N, Sureda X, et al. Second-hand smoke exposure in indoor and outdoor areas of cafés and restaurants: Need for extending smoking regulation outdoors? *Environ. Res*. 2016; 148: 421-8.
- Amalia B, Liu X, Lugo A, Fu M, Odone A, Brandt PA, et al. Exposure to secondhand aerosol of electronic cigarettes in indoor settings in 12 European countries: data from the TackSHS survey. *Tob Control*. 2021; 30(1): 49-56.
- Ilies BD, Moosakutty SP, Kharbatia NM, Sarathy SM. Identification of volatile constituents released from IQOS heat-not-burn tobacco HeatSticks using a direct sampling method. *Tob Control*. 2020; 0: 1-7.
- Uchiyama S, Noguchi M, Takagi Nao, Hayashida H, Inaba Y, Ogura H, et al. Simple Determination of Gaseous and Particulate Compounds Generated from Heated Tobacco Products. *Chem. Res. Toxicol*. 2018; 31: 585-93.
- Torres S, Merino C, Paton B, Correig X, Ramirez N. Biomarkers of Exposure to Secondhand and Thirdhand Tobacco Smoke: Recent Advances and Future Perspectives. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018; 15: 2693.
- Capone S, Tufaiello M, Forleo A, Longo V, Giampetruzzi L, Radogna AV, et al. Chromatographic analysis of VOC patterns in exhaled breath from smokers and nonsmokers. *Biomed. Chromatogr*. 2017; e4132.
- Buszewski B, Ulanowska A, Ligor T, Denderz N, Amann A. Analysis of exhaled breath from smokers, passive smokers and non-smokers by solid-phase microextraction gas chromatography/mass spectrometry. *Biomed. Chromatogr*. 2009; 23: 551-6.
- Hamblin D, Almirall J. Analysis of exhaled breath from cigarette smokers using CMV-GC/MS. *Forensic Chem*. 2017; 4: 67-74.
- Jareno-Esteban JJ, Munoz-Licas MA, Carrillo-Aranda B, Maldonado-Sanz JA, Granda-Orive I, Aguilar-Ros A, et al. Volatile Organic Compounds in Exhaled Breath in a Healthy Population: Effect of Tobacco Smoking. *Arch Bronconeumol*. 2013; 49(11): 457-61.
- Park SS, Lee JY, Cho SI. Validity of Expired Carbon Monoxide and Urine Cotinine Using Dipstick Method to Assess Smoking Status. *J Prev Med Public Health*. 2007; 40(4): 297-304.
- Wang Y, Hu Y, Wang D, Yu K, Wang L, Zou Y, et al. The analysis of volatile organic compounds biomarkers for lung cancer in exhaled breath, tissues and cell lines. *Cancer Biomark*. 2012; 11: 129-37.
- Song G, Qin T, Liu H, Xu GB, Pan YY, Xiong FX, et al. Quantitative breath analysis of volatile organic compounds of lung cancer patients. *Lung*

- Cancer. 2010; 67: 227-31.
18. National Institute of Environmental Research. Methods for Determination of Hazardous and Volatile Organic Compounds in Ambient Air-Adsorbent Trap Method(ES 01804.2). Korean Ministry of Environment. 2016.
19. Lawal O, Ahmed WM, Nijssen TME, Goodacre R, Fowler SJ. Exhaled breath analysis: a review of 'breath-taking' methods for off-line analysis. *Metabolomics*. 2017; 13: 110.
20. St.Helen G, Jacob III P, Nardone N, Benowitz NL. IQOS: examination of Philip Morris International's claim of reduced exposure. *Tob control*. 2018; 27: s30-s36.
21. Tayyarah R, Long GA. Comparison of select analytes in aerosol from e-cigarettes with smoke from conventional cigarettes and with ambient air. *Regul. Toxicol. Pharmacol*. 2014; 70: 704-10.
22. Phares DJ, Collier S, Zheng Z, Jung HS. In-situ analysis of the gas- and particle-phase in cigarette smoke by chemical ionization TOF-MS. *J. Aerosol Sci*. 2017; 106: 132-41.
23. Bentley MC, Almstetter M, Arndt D, Arno Knorr, Martin E, Pospisil P, et al. Comprehensive chemical characterization of the aerosol generated by a heated tobacco product by untargeted screening. *Anal. Bioanal. Chem*. 2020; 412: 2675-85.