

실외에서 흡연 및 담배제품 사용 시 발생하는 연기 특성

질병관리청 건강위해대응관 건강위해대응과 이은지, 나경인, 김현준
연세대학교 환경공해연구소 박민지, 박정원, Shervin Hashemi, 양지연, 임영욱*
연세대학교 건축환경연구소 박동준, 김대용, 김태연

*교신저자 : envlim@yuhs.ac, 02-2228-1898

초 록

실외 간접흡연 폐해 연구는 길거리 등 환경 요인에 따라 확산상태가 달라질 수 있어 실제 야외 대기오염물질을 측정하기 위해 담배 연기 확산모델 기반 구축한 후 실험을 진행하였다. 그 결과, 모든 담배제품 흡연 및 사용 시 미세먼지(PM₁₀), 초미세먼지(PM_{2.5}, PM_{1.0}) 농도는 액상형 전자담배(궐련)궐련형 전자담배 순, 블랙카본 농도와 복합악취 강도는 궐련액상형 전자담배(궐련)궐련형 전자담배 순으로 높았다. 따라서, 상대적으로 냄새 자극이 적다고 알려진 전자담배에서도 유해물질 배출이 확인되어 간접흡연 영향을 유의해야 할 필요가 있으며, 특히 전자담배 실내 사용 또한 주의해야 한다.

주요 검색어: 간접흡연, 담배연기, 실외흡연, 미세먼지

들어가는 말

세계보건기구는 흡연으로 인해 전세계에서 연간 800만 명이상이 사망하고 있으며 그 중 약 100만 명의 비흡연자가 간접흡연에 노출되어 사망한 것으로 추정하고 있다[1]. 흡연의 해로움이 과학적으로 입증된 시기는 1950년대 초반이었지만 간접흡연의 해로움은 1980년대부터 알려지기 시작했고, 최근에 더 많은 근거들이 누적되고 있다[2]. 실내 담배연기에 의한 간접흡연폐해연구는 다수 발표된 바 있으나, 길거리 등 실외흡연에 의한 간접흡연관련 연구는 부족한 실정이었다. 또한 간접흡연 영향은 흡연자 및 담배제품 사용자의 날숨을 통한 담배연기(에어로졸) 배출수준과 실외환경(풍향, 풍속 등)에 따라 담배배출물의 확산상태에 따라 달라질 수 있으므로 이를 확인하기 위한 실험연구가 기획되었다.

선행연구에서 흡연 시 배출되는 미세먼지(PM₁₀) 및 초미세먼지(PM_{2.5}, PM_{1.0}) 농도와 개인별 흡연행태에 따라 다르게

발생되는 것으로 분석된 바 있다. 특히, 담배 유형별 흡연자의 흡연행태에 의해 날숨을 통한 담배연기(에어로졸) 배출 수준이 다를 수 있어, 배출 시 공기 흐름에 따라 간접노출 영향을 파악하는 것이 중요하다. 또한, 날숨을 통한 미세먼지 및 초미세먼지의 배출이 호흡기 감염성 질환과 유의한 상관성이 있다고 알려져 있고, 흡연 및 사용자의 경우 날숨을 통해 유해물질을 더 멀리 퍼지게 할 수 있어 간접흡연 영향 또한 높일 수 있다.

본 연구는 연세대 환경공해연구소(1세부)에서는 실내 대기 중 미세먼지 및 초미세먼지 배출 실태를 조사하였고, 이를 기반으로 연세대 건축환경연구소(2세부)에서 전산유체역학을 통해 공기역학적 확산모형을 개발하고 실험을 진행하였다.

이 보고서는 실험 결과 중 담배 유형에 따라 흡연 시 발생하는 미세먼지(PM₁₀) 및 초미세먼지(PM_{2.5}, PM_{1.0}), 블랙카본, 복합악취의 실태를 조사한 결과이다.

몸 말

1. 담배 제품별 다른 연기(에어로졸) 발생 특성 실태 조사 개요

1) 조사 대상 담배제품의 흡연 및 사용자 모집

2021년도 질병관리청 생체지표 및 흡연습성 기반의 흡연 위해성 평가 연구에서 개발된 자기보고 설문조사를 사용하여 온라인 설문조사 기관과 협약을 체결하고 해당 기관에서 보유 중인 흡연자 명단 내 패널로 연구 참여 대상자를 모집하였다[3-5].

전국 규모로 20~40대 흡연자 자기보고 설문조사 응답을 기반으로 호흡 길이와 속도 등을 고려해 담배 유형별 담배제품의 흡연 및 사용자 10명(총 30명)을 최종 선정하였다.

2) 담배제품 흡연(사용) 시, 유해물질(미세먼지 등) 발생 조사 방법

GRIMM11-A Optical Particle Counter(OPC) 장비를 활용하여 선정된 연구대상자들 흡연 시 배출되는 미세먼지양을 측정하였다. 또한, ETHLABS microAeth® MA300 장비를 통해 흡연 시 발생된 블랙카본을 측정하였고, 복합악취 장비(OMX-SRM)를 통해 공기 중 냄새 강도를 측정하였다. 본 연구에서는 실내 흡연 시 미세먼지

발생량의 실태조사 결과를 기반으로 담배 종류별 미세먼지 발생량과 복합악취 강도, 블랙카본 농도의 75 백분위수 결과를 대푯값으로 총 11명 중 최종 흡연자 3명을 선정하였다[6].

3) 담배제품 흡연(사용) 시, 유해물질(미세먼지 등) 확산 조사 방법

담배 종류별 실외 공기 중 미세먼지 확산 조사를 위해 실외극장 무대에서 실험을 준비하였다(그림 1). 흡연 및 담배제품 사용 시 바람이 있는 경우와 없는 경우의 환경을 조성하기 위해서 흡연자가 위치한 곳 3 m 이내에 선풍기를 설치하고 풍속을 미풍(1.8 m/s)으로 설정하였다. 실외극장 무대에서 흡연자 자리를 마련하고 다양한 풍속을 고려하여 꺾련, 꺾련형 전자담배, 액상형 전자담배를 흡연 및 사용 전에 Dust Mate handheld dust and fume detector라는 직독식 장비와 GRIMM11-A OPC 장비를 통해 담배제품의 흡연 및 사용자 자리로부터 거리별(흡연자의 -3 m(뒤쪽), 0 m, 3 m, 5 m, 10 m) PM_{10} , $PM_{2.5}$, $PM_{1.0}$ 의 공기 중 배경농도를 측정하였다. 담배제품의 흡연 및 사용을 시작할 때부터 흡연 노출원로부터의 거리별(0 m, 3 m, 5 m, 10 m) 대기 중 PM_{10} , $PM_{2.5}$, $PM_{1.0}$ 의 농도를 측정하였다. 또한 블랙카본의 발생과 확산을 확인하기 위해 1개 지점(3 m)에서 ETHLABS microAeth® MA300 장비를 설치하고 측정을 진행하였다.

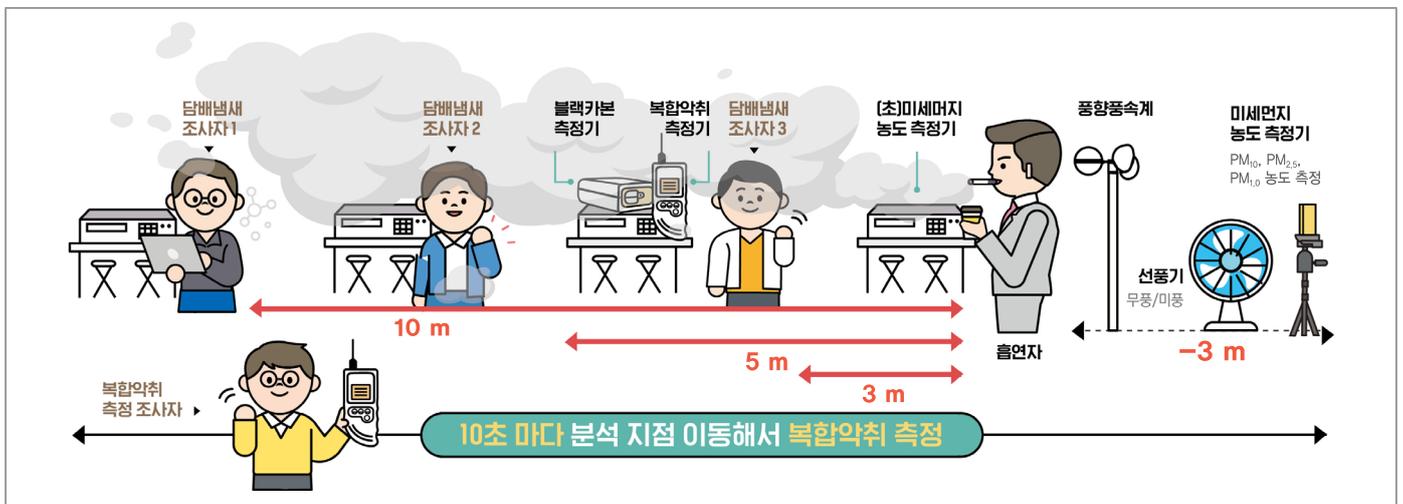


그림 1. 담배 종류별 실외 공기 중 미세먼지 확산조사 개요도

흡연 시 담배 냄새 강도를 확인하기 위해서 OMX-SRM 장비를 통해 복합악취를 측정하였다. 이를 위해서 복합악취 측정기 1대를 1개 지점(3 m)에서 고정하고, 10초마다 거리별(-3 m, 0, 3, 5, 10 m) 가동 후 측정하였다. 또한, 지점별 담배 냄새 조사자는 냄새를 느낄 때 손을 흔들며 냄새 인지의 유무 상태를 기록하였다.

2. 담배 종류별 실외 공기 중 유해물질(미세먼지 등) 확산조사 주요 결과

1) 담배제품 흡연(사용) 시, 미세먼지 및 블랙카본 조사 결과

모든 담배 유형에서 초미세먼지(PM_{1.0})가 액상형 전자담배(172,845 $\mu\text{g}/\text{개비}$), 궤련(14,415 $\mu\text{g}/\text{개비}$), 궤련형 전자담배(3,100 $\mu\text{g}/\text{개비}$) 순으로 높게 나타났으며, 미세먼지 또한 동일한 순서로 나타났다. 공기 중 블랙카본 농도는 '궤련(523 $\mu\text{g}/\text{개비}$)', '액상형 전자담배(99 $\mu\text{g}/\text{개비}$)', '궤련형 전자담배(11 $\mu\text{g}/\text{개비}$)' 순으로 나타났다(표 1).

또한, 담배 종류별 공기 중 복합악취 강도, 즉 비흡연자가 담배연기(에어로졸)로부터 불쾌감을 느낄 수 있는 강도를 측정한 결과, 궤련(36 희석횟수), 액상형 전자담배(13 희석횟수), 궤련형 전자담배(5 희석횟수) 순으로 나타났다.

2) 담배제품 흡연(사용) 시, 유해물질(미세먼지 등) 확산 조사 결과

담배 종류별 실외 대기 중 미세먼지 확산 상태 결과를 그림 2로 요약하였다. 실험에 사용한 모든 담배 유형의 담배사용 장소로부터 3 m, 5 m, 10 m 떨어진 장소에서 미세먼지(PM_{1.0}), 초미세먼지(PM_{2.5}, PM_{1.0}) 농도가 담배 흡연 전 대기 중 미세먼지와 초미세먼지 농도보다 높았다. 흡연 시 발생하는 공기 내 미세먼지 및 초미세먼지 농도는 액상형 전자담배, 궤련, 궤련형 전자담배 순이었으나, 유효 확산은 액상형 전자담배, 궤련형 전자담배, 궤련 순으로 멀리 퍼져나갔다.

흡연자를 기준으로 바람의 방향에 따라 담배 연기 확산모형을 분석한 결과 2 m 이상부터 유해물질 농도가 상당수준 낮아지는 것으로 나타났다.

또한, 미풍(1.8 m/s) 환경에서 3명 흡연 및 담배 제품 사용 시 PM_{2.5}의 확산 상태는 그림 3과 같이 분석되었으며 담배 종류별로 초미세먼지 농도가 WHO의 PM_{2.5} 기준농도 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 감소되는 거리까지 분석했다. 이에 따라, 액상형 전자담배와 궤련 담배는 100m 이상까지 대기 기준농도를 초과하여 지속 유지되었고 궤련형 전자담배는 10 m 이상 거리에서 대기 기준농도 이하로 감소하였다.

표 1. 담배 한 개비에서 미세먼지 발생량 결과

(단위: $\mu\text{g}/\text{개비}$)

에어로졸 종류	궤련담배		궤련형 전자담배		액상형 전자담배*	
	자료수	75백분위수	자료수	75백분위수	자료수	75백분위수
총 부유 입자	30	14,906	30	2,992	30	211,840
미세먼지(PM _{1.0})	30	14,601	30	2,988	30	212,239
초미세먼지(PM _{2.5})	30	14,573	30	3,126	30	209,110
초미세먼지(PM _{1.0})	30	14,415	30	3,100	30	172,845
블랙카본	27	99	9	11	15	523

* 기준 흡연 된 담배 액상 용량 보정 값 : 1개비 = 0.2g 액상 사용량

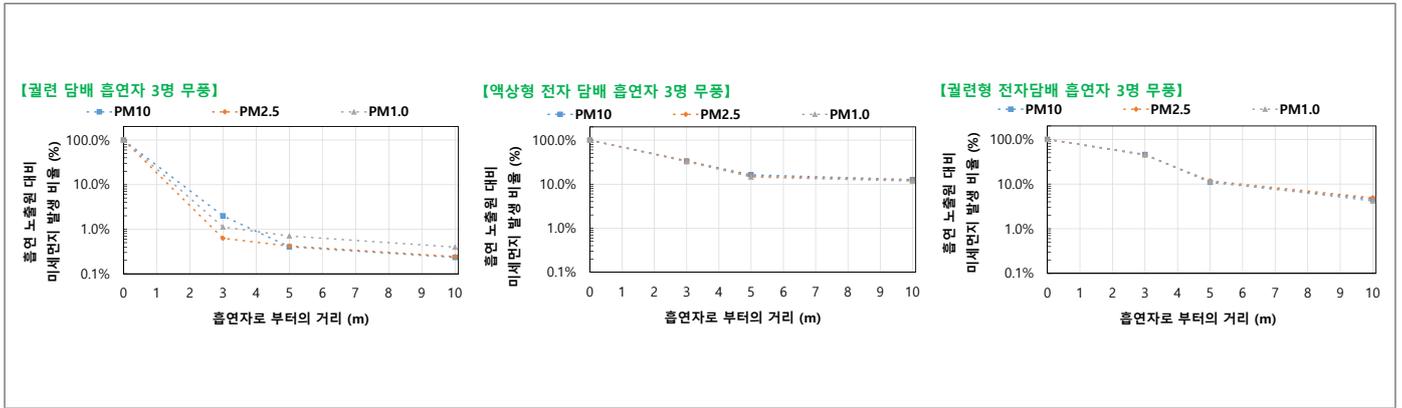


그림 2. 담배 종류별 초미세먼지 확산 거리

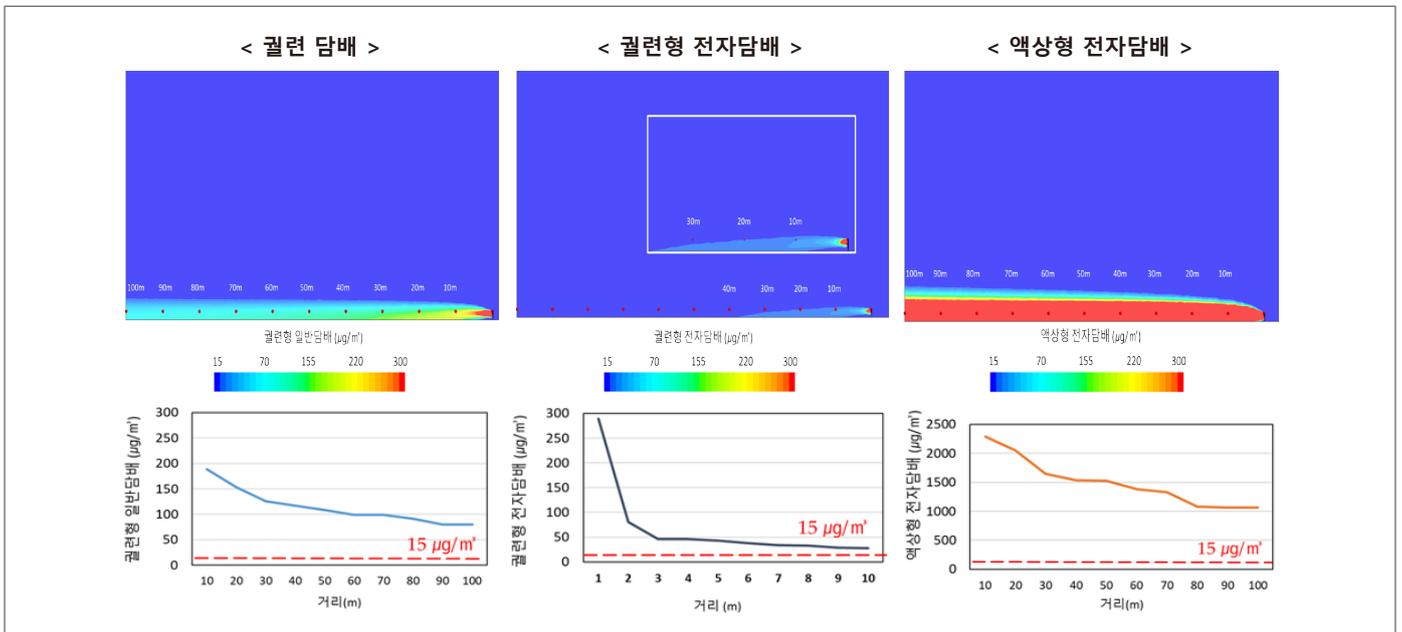


그림 3. 공기역학적 모형을 통한 거리별 담배 연기 농도 분석

맺는 말

간접흡연은 비흡연자가 흡연자의 담배연기를 흡입함으로써 직접흡연하는 것과 같은 건강 영향이 나타날 수 있으며 미국 등에서 태아발육 억제, 영아 돌연사 증후군, 아동 기관지 천식, 종이염을 비롯한 뇌혈관 질환, 암 등을 일으키는 위험인자로 알려져 있다. 이번 연구용역은 실제 외부 환경과 유사한 상황을 가정 후 이 같은 간접흡연 피해를 증명하기 위해 추진되었다. 이를 위해 실외 흡연 및 사용자로부터 3 m, 5 m, 10 m에서 대기 중 미세먼지의 농도를 측정하였으며, 그 결과 모든 담배제품의 흡연 및 사용자로부터

미세먼지(PM_{10}), 초미세먼지($\text{PM}_{2.5}$, $\text{PM}_{1.0}$) 농도가 해당 담배 제품 흡연 전의 농도보다 높은 결과를 확인하였다.

담배제품 흡연 및 사용자를 기준으로, 바람의 방향에 따라 담배 연기 확산모형을 분석한 결과 2 m 이상에서 미세먼지 및 초미세먼지 농도가 상당수준 낮아지는 것으로 나타났다. 또한 흡연자 수를 3명으로 하여 미풍(1.8 m/s)의 환경에서 초미세먼지 중 $\text{PM}_{2.5}$ 가 WHO가 제시한 기준농도 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 감소되는지를 측정 한 결과 액상형 전자담배와 궤련이 100 m까지도 기준농도를 초과하여 지속 유지되는 것을 확인하였다.

한편, 블랙카본을 추가 측정 한 결과 담배 유형 모두에서

검출되었으며, 이는 전자담배에서도 궐련과 유사하게 유해물질이 검출된다는 것을 확인한 결과라 할 수 있다. 따라서 상대적 악취가 덜하여 자극이 적다고 알려진 전자담배에 의한 간접흡연 영향에 대해 유의할 필요가 있으며, 특히 전자담배를 실내에서 사용하는 것을 주의해야 한다.

앞으로도 질병관리청은 간접흡연으로 인한 유해물질 노출수준 파악을 위한 바이오모니터링, 질병 및 사망 발생, 사회경제적 부담 등 폐해 규모를 지속 파악하고, 담배 유형별 건강영향연구를 보강해나갈 계획이다.

① 이전에 알려진 내용은?

세계보건기구는 흡연으로 인해 전세계에서 연간 800만 명 이상이 사망하고 있으며 그 중 약 100만 명의 비흡연자가 간접흡연에 노출되어 사망한 것으로 추정되고 있다.

국민건강영양조사 7기(2016~2018) 조사에서는 부모가 흡연자인 만 6~10세 자녀인 경우 노출수준을 흡연 생체지표인 코티닌 양으로 환산한 결과 한달 평균 최대 11.7개비 직접 흡연하는 양과 같은 수준으로 밝혀졌다[3].

② 새로이 알게 된 내용은?

실외 환경에서 모든 담배 제품의 흡연 및 사용자로부터 미세먼지(PM₁₀), 초미세먼지(PM_{2.5}, PM_{1.0}) 농도가 해당 담배 제품 흡연 전의 농도보다 높은 것을 확인하였으며, '액상형 전자담배', '궐련', '궐련형 전자담배' 순으로 나타났다. 블랙카본 농도와 복합악취의 강도의 경우는 '궐련', '액상형 전자담배', '궐련형 전자담배' 순으로 나타났다.

③ 시사점은?

상대적으로 악취가 덜한 전자담배 사용 시에도 미세먼지 및 초미세먼지, 블랙카본과 같은 유해물질이 배출되어 간접흡연의 영향을 유의해야 하며, 실내 사용 또한 주의해야 한다.

참고문헌

1. WHO REPORT ON THE GLOBAL TOBACCO EPIDEMIC, Addressing new and emerging products, 2021.
2. 국립암센터. 간접흡연의 해로움. 2007
3. 질병관리청. 생체지표 및 흡연습성 기반의 흡연위해성 평가 연구. 2021.
4. Yang J, Hashemi S, Han W, Lee C, Song Y, Lim Y. Study on the daily *ad-libitum* smoking habits of active Korean smokers and their effect on urinary smoking exposure and impact biomarkers. *Biomarkers*. 2021;26(8):691-702.
5. Yang J, Hashemi S, Lee C, Han W, Song Y, Lim Y. Comparison between self-reported smoking habits and daily *ad-libitum* smoking topography in a group of Korean smokers. *Environmental Analysis Health and Toxicology*. 2022;37(3):e2022020-0.
6. RIVM, General Fact Sheet. General default parameters for estimating consumer exposure – Updated version 2014, RIVM report 090013003/2014, Netherland, 2014.

Abstract

Smoke characteristics generated when smoking and using tobacco products outdoors

Eunji Lee, Kyoungin Na, Hyunjun Kim

Division of Health Hazard Response, Director General for Health Hazard Response, Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA)

Youngwook Lim, Jiyeon Yang, Shervin Hashemi, Jeongwon Park, Minji Park

Institute for Environmental Research, Yonsei University College of Medicine

Tae Yeon Kim, Dae Woong Kim, Dong Jun Park

Department of Architectural Engineering, Yonsei University

In the study of the harmful effects of outdoor secondhand smoke, the diffusion state may vary depending on environmental factors such as the street, so to measure the actual outdoor air pollutants, an experiment was conducted after establishing a cigarette smoke diffusion model base. As a result, when smoking and using all tobacco products, the concentration of fine dust ($PM_{1.0}$) and ultrafine dust ($PM_{2.5}$, $PM_{1.0}$) was in the order of 'liquid electronic-cigarette (e-cigarette)' > 'ordinary cigarette' > 'heating e-cigarette', black carbon concentration and complex odor intensity were 'ordinary cigarette' > 'liquid e-cigarette' > 'heating e-cigarette' were the highest in the order.

Therefore, even e-cigarettes, which are known to have relatively less irritating odors, emit harmful substances, so it is necessary to pay attention to the effects of second-hand smoke, especially indoor use of e-cigarettes.

Keywords: Secondhand smoke, Tobacco smoke, Outdoor smoking, Fine dust

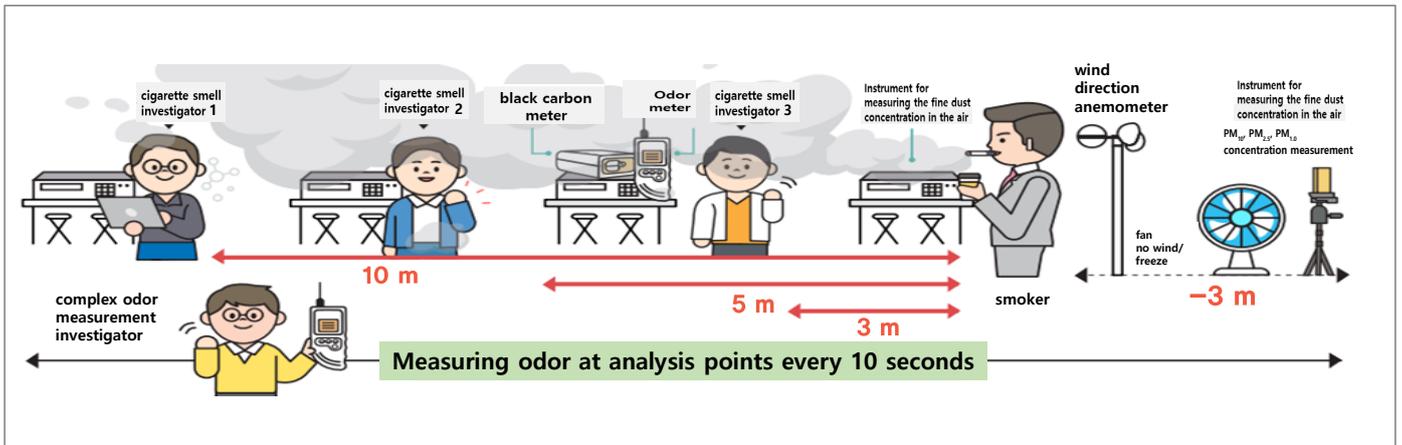


Figure 1. Survey on the spread of fine dust during smoking

Table 1. Results of fine dust generation from one cigarette

(units: $\mu\text{g}/\text{cigarette}$)

Aerosol Type	Ordinary Cigarettes		Heating e-Cigarettes		Liquid e-Cigarettes*	
	n	75 th Percentile	n	75 th Percentile	n	75 th Percentile
Total Suspended Particles	30	14,906	30	2,992	30	211,840
Fine dust (PM_{10})	30	14,601	30	2,988	30	212,239
Ultrafine dust ($\text{PM}_{2.5}$)	30	14,573	30	3,126	30	209,110
Ultrafine dust ($\text{PM}_{1.0}$)	30	14,415	30	3,100	30	172,845
Black Carbon	27	99	9	11	15	523

* For liquid e-cigarettes: 1 cigarette = 0.2 g e-juice

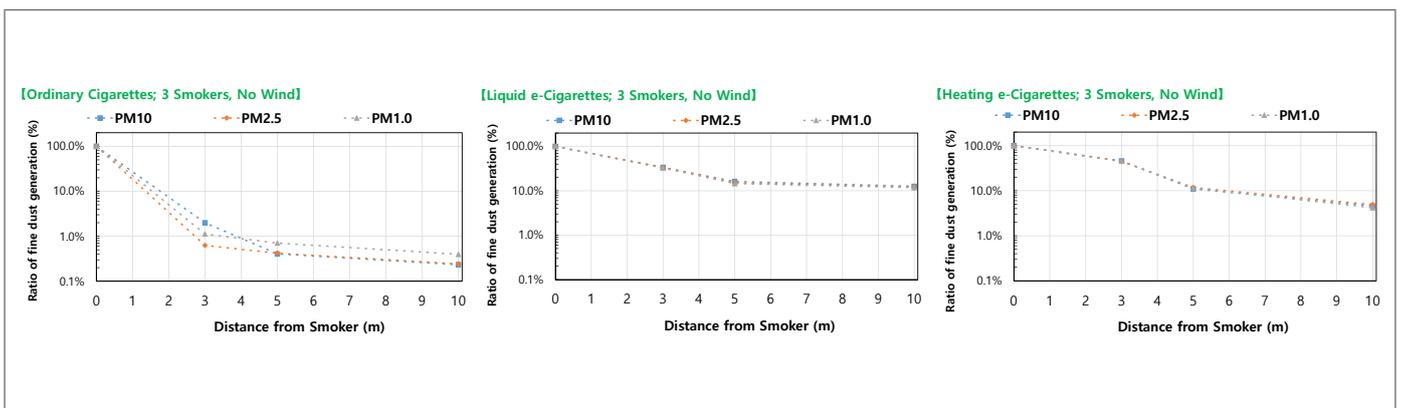


Figure 2. Diffusion distance of fine dust for different types of cigarettes

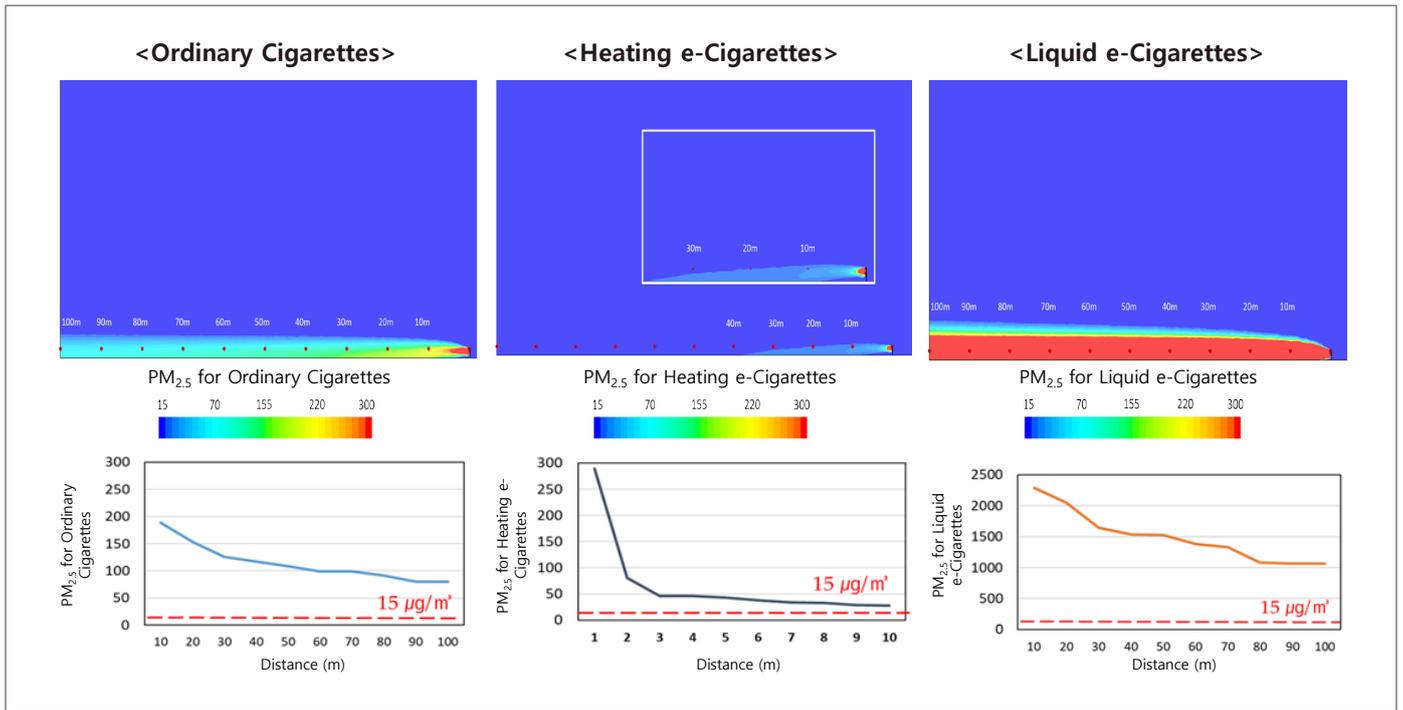


Figure 3. Analysis of cigarette smoke diffusion by distance through Computational Fluid Dynamics analysis