

태우는 생활화학제품(향초와 인센스 스틱)의 사용이 실내 공기질에 미치는 영향

박은아¹ , 어승연¹ , 오예린¹ , 박나연¹ , 이명호² , 고영림^{1*} ¹을지대학교 보건환경안전학과, ²서울대학교 보건대학원 환경보건학과Effects on Indoor Air Quality of Burning Chemicals
(Scented Candles and Incense Sticks)Eun-Ah Park¹, Seungyeon Eo¹, Yerin Oh¹, Na-Youn Park¹, Myoungho Lee², and Younglim Kho^{1*}¹Department of Health, Environment & Safety, Eulji University,²Department of Environmental Health Sciences, Graduate School of Public Health, Seoul National University

ABSTRACT

Background: The use of scented candles and incense sticks, both of which are household products that are burned for indoor deodorization and calming effects, is increasing. Fine dust has been designated as a group 1 carcinogen by the International Agency for Research on Cancer. Volatile organic compounds (VOCs) affect air pollution and can cause diseases.

Objectives: This study aims to determine the effect on indoor air quality by measuring PM_{2.5} and VOCs generated when burning scented candles and incense sticks.

Methods: Scented candles and incense sticks were selected as household products to burn. As for the target sample, top-selling products (five types of scented candles, five types of incense sticks) were purchased online. The PM_{2.5} concentration according to time was measured immediately next to the sample and three meters away from each other in an enclosed space using a real-time aerosol photometer. VOCs were collected as samples under the same conditions using Tenax tubes and were quantitatively analyzed by TD-GC/MS.

Results: In the case of scented candles, the concentration of PM_{2.5} did not increase during combustion and after being extinguished by placing a cover on the candle. For the incense sticks, the concentration of PM_{2.5} averaged 1,901.27 µg/m³. After burning scented candles and incense sticks, some VOCs concentrations were increased such as ethyl acetate and BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene, xylene).

Conclusions: Therefore, when using scented candles, extinguishment by placing a cover on the candle can be expected to reduce PM_{2.5}. It is advisable to avoid using incense sticks because PM_{2.5} concentration increases from the start of combustion.

Key words: Scented candle, incense stick, PM_{2.5}, VOCs, burning chemicals

Received November 27, 2023

Revised January 15, 2024

Accepted January 22, 2024

Highlights:

- PM_{2.5} did not increase during combustion of scented candle and after extinguished by cap.
- For the incense sticks, very high PM_{2.5} was detected during combustion and after extinguish.
- After burning scented candles and incense sticks, some VOCs concentration were increased.

*Corresponding author:

Department of Health, Environment & Safety, Eulji University, 553 Sanseong-daero, Seongnam 13135, Republic of Korea

Tel: +82-31-740-7142

Fax: +82-31-740-7327

E-mail: ylkho@eulji.ac.kr

I. 서 론

생활화학제품이란 일상생활 중 생활공간에서 사용하는 화학제품이며, 그 중 방향·탈취 제품은 발향 및 진정 효과를 목적으로 일상생활에서 널리 사용되고 있다. 그러나 방향·탈취 제품 중 태워서 사용하는 향초와 인센스 스틱은 실내 공간에서 공기 오염을 발생시킨다고 보고되었다.¹⁾ 특히, 태워서 사용하는

생활화학제품의 경우, 연소 시 미세먼지와 초미세먼지 및 독성 물질(벤젠, 포름알데히드 등)을 생성시킬 수 있다.^{1,2)}

미세먼지는 대기 중에 부유하는 입자상 물질로 입자 크기에 따라 직경 10 µm 이하(10 µm는 0.001 cm)인 것을 PM₁₀이라고 하며 직경 2.5 µm 이하인 것을 PM_{2.5}라고 한다. 미세먼지의 성분은 크게 수용성 이온, 유기·무기 탄소, 미량 중금속 등으로 인체 건강에 악영향을 미치는 성분들로 이루어져 있다.³⁾

미세먼지는 세계보건기구(World Health Organization, WHO)와 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서 1급 발암물질로 지정하였다.⁴⁾ 호흡기관에 흡착된 미세먼지는 염증을 유발하고, 상기도 감염을 비롯한 호흡기, 피부, 안구 질환으로 이어지며, 지름 2.5 μm 이하의 초미세먼지는 폐포까지 침투하여 기관벽을 통과해 혈관으로 흡수되며 뇌졸중, 뇌경색이나 심장질환을 일으키는 것으로 알려져 있다.^{5,6)} 특히 임산부·영유아, 어린이, 노인, 심뇌혈관질환자, 호흡기·알레르기질환자 등과 같은 민감군은 미세먼지 노출에 대한 위험이 더 크다. 임산부가 흡입한 미세먼지는 태아의 성장·발달은 물론 조산과도 관련이 있다.⁵⁻¹⁰⁾

또한 향초나 인센스 스틱에는 다양한 화학물질이 함유되어 있는데, 그 중 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)이 포함되어 있다.^{11,12)} VOCs은 대기 중으로 휘발되어 악취를 유발하고, 광화학반응에 의해 오존을 발생시키며, 2차 미세먼지의 원인물질이 되는 탄화수소 화합물을 일컫는다.^{9,13,14)} 대표적인 물질로는 벤젠, 톨루엔, 자일렌(m-, p-, o-), 에틸렌, 스티렌, 포름알데히드, 아세트알데히드 등이 존재한다.^{9,10)}

특히 휘발성유기화합물 중 일부 물질은 발암성을 내포하기

도 한다. 벤젠 또한 IARC에서 1급 발암물질로 지정된 물질이다. 고농도의 VOCs에 의한 인체 영향으로는 중추신경을 억제하여 마취작용을 일으키는 급성장해와 말초신경계 및 만성적인 신경행동학적 질병을 일으키는 만성장해로 구분할 수 있다.^{12,15,16)} 급성장해의 증상으로는 지각력 상실, 도취감, 현기증 및 혼돈 등이 발생하며, 노출농도가 높아지면 의식의 상실과 마비, 경련, 심할 경우에는 사망에 이를 수도 있다. 그 밖에는, 피부, 호흡기 점막에 자극 증상을 나타내기도 한다. 만성장해 증상으로는 감각이상, 시각 및 청각장해, 기억력 감퇴, 작업능률 저하, 수면장애 등의 정서장애 및 운동장애가 발생한다.^{12,16-18)}

이처럼 일상생활에서 태우는 생활화학제품을 사용함에 따라 인체에 노출될 수 있는 PM_{2.5}와 VOCs에 대한 우려가 발생하고 있으며, 이와 관련하여 Kim과 Song (2016),¹⁹⁾ Park 등 (2021)²⁰⁾에서는 향초 사용시 PM_{2.5} 발생량을 조사하였고, Lim과 Kim (2015)²¹⁾에서는 향초 사용시 VOCs 농도를 조사하는 등 선행 연구가 진행되었다. 하지만 위 3개의 연구에서 PM_{2.5}와 VOCs를 동시에 측정하지는 않았으며, 향초만을 대상으로 실험하였다. 따라서 본 연구에서는 선행 연구를 보완하여 태워서

Table 1. TD-GC/MS analysis conditions

| Parameter | Conditions |
|---------------------|---|
| Instrument | Chromatec Crystal MSD (Chromatec, Russia) |
| Column | DB-624 (length 60 m, diam 0.25 mm, film 1.00 μm) |
| MS inlet temp. (°C) | 230 |
| Inject mode | Split mode (50:1) |
| Injection vol. | 1 μL |
| Column temp. (°C) | 40°C (15 min) \rightarrow 200°C (8°C/min) \rightarrow 260°C (20°C/min, 7 min) |
| MS mode | SIM |
| Compounds | m/z |
| Pentane | 43 42 |
| Acetone | 43 58 |
| Methyl acetate | 43 74 |
| Methylene chloride | 49 84 |
| Tert-butanol | 59 57 |
| Ethyl acetate | 43 45 |
| Benzene | 78 77 |
| Toluene | 91 92 |
| Ethylbenzene | 91 65 |
| m-xylene | 106 91 |
| p-xylene | 106 91 |
| Isoamyl acetate | 43 67 |
| o-xylene | 91 106 |
| Pentyl acetate | 43 70 |
| D-limonene | 68 93 |

사용하는 생활화학제품 중 향초 뿐만 아니라 인센스 스틱까지 포함하여 제품 연소 시 발생하는 초미세먼지와 VOCs의 농도를 측정하고, 국내의 $PM_{2.5}$ 와 VOCs의 기준 농도를 토대로 태우는 생활화학제품의 안전한 사용 방법을 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상 제품 및 분석대상물질

시장 조사를 통해 온라인 유통업체의 사용량을 파악하여 상위 업체들을 선정해 점수를 매기고, 온라인 유통업체 내에서도 판매량을 나누어 시료 구입 당시(2023년 5월) 가장 점유율이 높았던 향초 5종, 인센스 스틱 5종을 실험군으로 선정하여 구입하였다.

분석대상물질은 초미세먼지($PM_{2.5}$)와 17종의 VOCs를 대상으로 하였다(Table 1). VOCs는 생활화학제품 중 방향탈취제 제품에 함유되어 있는 성분을 조사하여, 그 중 사용빈도가 높거나 인체에 유해한 성분을 선정하였다. 각각의 표준물질은 모두 Sigma-Aldrich (Sigma-Aldrich, St.Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다.

2. 시험방법

2.1. 초미세먼지($PM_{2.5}$) 측정

초미세먼지($PM_{2.5}$) 측정은 에어콕 휴대용 미세먼지 측정기(SMART AIRCOK, 에어콕 베이비, Korea)를 사용하였다. 측정에 사용하는 초미세먼지 측정기는 레이저 산광법을 이용하는 장비이며 측정주기는 3초이고, 장비의 측정 오차율은 $\pm 15\%$ 이다. 초미세먼지($PM_{2.5}$)는 향초와 인센스 스틱을 각각 밀폐된 공간(가로 3 m, 세로 2 m, 높이 2.3 m)에서 측정하였다. 이는 제품의 특성상 발향을 위해 밀폐된 실내에서 주로 사용하기 때문

에 선정한 장소이다. 또한 향초에서 초미세먼지 측정기의 거리(0 m, 3 m)와 사용 상태(연소 전, 연소 중(30분), 소화 시, 환기 10분 경과 시, 환기 20분 경과 시, 환기 30분 경과 시)에 따라 측정하였다. 환기는 측정 공간의 창문을 열어 진행하였다. 측정 거리는 실험을 진행한 공간의 최대 거리를 고려하여 3 m로 하였으며, 측정시간은 인센스 스틱 1개가 모두 연소되는 평균적인 시간(30분)을 기준으로 하였다. 측정기를 통해 실시간으로 측정된 $PM_{2.5}$ 의 결과는 에어콕 베이비 어플리케이션에서 확인하였다. 사용자가 어플리케이션을 통하여 보는 값은 측정된 $PM_{2.5}$ 농도에 보정계수를 곱한 최종 값이다. Fig. 1은 측정 공간의 구조를 나타낸 그림이다.

2.2. 휘발성유기화합물(VOCs) 시료 채취 및 분석

향초 및 인센스 스틱의 연소 전후 공기 중 VOCs 농도를 분석하기 위하여 밀폐된 공간(가로 3 m, 세로 2 m, 높이 2.3 m)에서 측정 거리(0 m, 3 m)와 연소 전후 공기 시료를 채취하였다. 공기 시료의 채취는 0.2 L/min의 유량으로 고체흡착관인 테낙스 튜브(Tenax TA tube, Chromatec, Russia)에 30분 동안 흡착시켜 수집하였으며, 한 제품당 연소 전(background)과 연소 중(0 m 및 3 m)으로 총 3건의 시료를 수집하였다.

수집된 시료는 분석 전까지 -20°C 에서 보관하였으며, 열탈착-기체크로마토그래피 질량분석기(Thermal Desorption-Gas Chromatography, TD-GC/MS, Chromatec, Russia)를 사용하여 정량분석하였으며, 자세한 기기분석 조건은 Table 1과 같다. 검량선은 테낙스 튜브에 17종의 VOCs 표준물질을 인위적으로 주입하여 작성하였으며, 검량선 범위는 0.1 ng부터 500 ng까지 작성하였다. VOCs의 각 물질별 검출한계는 0.73 ng (메틸아세테이트)과 5.06 ng (아세톤) 사이의 값으로 Table 2에 제시하였다. 또한 분석의 재현성을 확인하기 위하여 동일한 농도를 반복 분석하였을 때 1% 이내의 편차를 보였다.

III. 결 과

1. 초미세먼지($PM_{2.5}$) 측정 결과

향초의 경우 사용 거리에 따라 0 m에서 초미세먼지를 측정하였을 때, 사용 전, 사용 중(30분), 환기(10분 후/20분 후/30분 후) 순으로 농도가 각각 $11.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $17.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $25.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $19.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $16.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 3 m에서는 각각의 농도가 $11.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $14.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $23.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $18.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $14.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 사용 중부터 실내의 $PM_{2.5}$ 의 농도가 증가하였고 환기 이후 감소하는 결과를 보였다. 또한 사용상태에 따른 사용 전후 차이가 각 $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘지 않으며, 환경부의 실내 공기질 기준 중 $PM_{2.5}$ 의 유지 기준인 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 벗어나지 않는 수치이다.

연구에 사용한 향초는 모두 뚜껑이 있는 제품이다. 뚜껑을

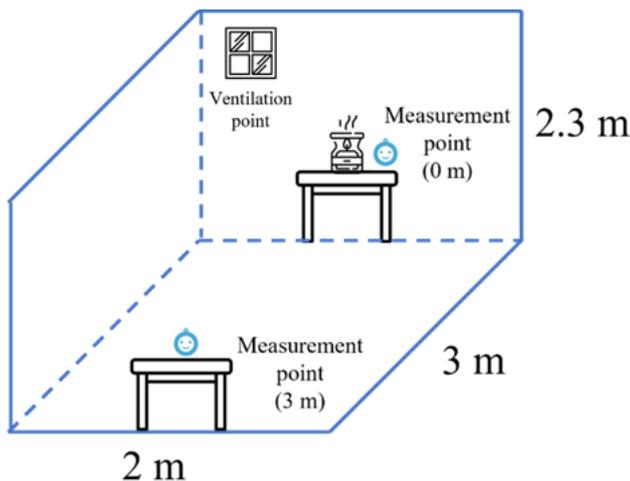


Fig. 1. Structure of the measurement room

Table 2. VOCs measurement results according to usage conditions of scented candles and incense sticks (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| | Pentane | Acetone | Methyl acetate | Methylene chloride | Tert-butanol | Ethyl acetate | Benzene | Toluene | Ethylbenzene | m,p-xylene | Isoamyl acetate | o-xylene | Pentyl acetate | D-limonene | 1,4-dichlorobenzene | Benzyl acetate | Sigma VOC |
|----------|---------|---------|----------------|--------------------|--------------|---------------|---------|---------|--------------|------------|-----------------|----------|----------------|------------|---------------------|----------------|-----------|
| LOD (ng) | 1.54 | 5.06 | 0.73 | 2.61 | 1.64 | 1.47 | 1.21 | 1.15 | 1.18 | 1.11 | 1.30 | 1.77 | 1.31 | 1.65 | 1.71 | 1.05 | |
| Candle | 2.20 | 6.83 | 0.75 | 2.10 | <LOD | 4.77 | 0.43 | 7.00 | 1.93 | 1.30 | <LOD | 1.15 | <LOD | 0.50 | <LOD | 0.30 | 29.26 |
| AM | 3 m | 1.90 | 9.27 | 2.13 | <LOD | 9.60 | 1.17 | 15.80 | 4.40 | 3.23 | <LOD | 2.20 | <LOD | 1.63 | <LOD | 0.65 | 52.68 |
| | 0 m | 2.17 | 10.33 | 2.87 | <LOD | 9.67 | 1.13 | 15.93 | 4.60 | 3.47 | <LOD | 2.37 | <LOD | 43.83 | <LOD | 18.87 | 116.04 |
| Incense | BG | 0.63 | 4.27 | 2.17 | <LOD | 1.83 | <LOD | 2.03 | 0.43 | 0.37 | <LOD | <LOD | <LOD | 0.25 | <LOD | <LOD | 12.18 |
| AM | 3 m | 0.83 | 5.63 | 2.23 | <LOD | 1.70 | 6.50 | 5.47 | 1.07 | 1.00 | <LOD | 0.63 | <LOD | 2.03 | <LOD | <LOD | 27.46 |
| | 0 m | 0.93 | 6.23 | 3.47 | <LOD | 4.33 | 8.23 | 6.40 | 1.17 | 1.13 | <LOD | 0.67 | <LOD | 1.50 | <LOD | <LOD | 34.39 |

BG: Background, AM: Arithmetic mean, LOD: Limit of detection.

달지 않고 소화했을 때와 달아서 질식소화하였을 때를 비교하였다. 두 소화 방법의 PM_{2.5} 농도 차이를 파악하여 건강영향 측면에서 보다 안전한 사용 방법을 파악하고자 하였다. 뚜껑을 연 채로 불어서 끄는 순간 0 m 거리에서는 평균 2,365.7±957.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 PM_{2.5} 농도가 급격하게 상승하였고, 3 m 거리에서는 33.5±30.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 약 2배 상승하였다. 반면 뚜껑을 덮어서 끌 때 PM_{2.5} 농도는 13.0±4.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 향초 연소 시 PM_{2.5} 농도보다 낮은 수준으로 이때 PM_{2.5} 발생은 거의 없는 것으로 보인다.

인센스 스틱의 경우 사용 거리에 따라 0 m에서 초미세먼지를 측정하였을 때, 사용 전, 사용 중(30분), 환기(10분/20분/30분) 순으로 농도가 각각 13.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1,901.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 119.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 46.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 22.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었다. 3 m에서는 각 농도가 12.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 997.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 110.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 45.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 23.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 인센스 스틱은 소화 후가 아닌 사용 중부터 PM_{2.5}의 농도가 높아지고 환기 이후 농도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 인센스 스틱의 사용 중(30분) 수치는 환경부 실내 공기질 PM_{2.5} 유지 기준인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 약 14~26배 초과하는 수치였다. 하지만 소화 후 환기를 시작하자 10분이 경과하였을 때 90% 이상 PM_{2.5} 농도가 감소하는 추세를 보였다. 환기 30분이 경과하였을 때는 환경부의 기준보다 낮은 농도로 감소하였다(Table 3). Fig. 2와 Fig. 3은 향초와 인센스 스틱 5개의 실험 결과 중 하나의 사례를 나타낸 그림이며, 향초의 소화 및 환기에서 PM_{2.5} 농도는 불어서 끌 때의 자료이다.

2. 휘발성유기화합물 측정 결과

향초와 인센스 스틱의 VOCs 농도를 측정하여 17종의 농도를 모두 합산한 총 VOC 농도를 나타내었다. 측정 거리와 연소 전후의 총 VOC 농도를 비교하였을 때 향초와 인센스 스틱 모두 연소 전인 background의 농도가 각각 29.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 12.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았다. 연소 중(3 m)의 총 VOC 농도는 52.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 27.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 연소 중(0 m)의 총 VOC 농도가 116.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 34.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 측정되었다(Table 2).

t-부탄올, 이소아밀 아세테이트, 펜틸아세테이트, 1,4-디클로로벤젠의 경우 모든 측정 값이 LOD보다 낮았다. 하지만 에틸아세테이트에서는 연소 전에 비해 연소 중(0 m, 3 m)인 향초 농도가 약 2배 상승하였으며, 인센스 스틱은 연소 중(0 m)에서만 약 2.4배 상승하였다. 벤젠은 연소 중(0 m, 3 m)인 향초에서 약 2.7배 상승하였으며, 인센스 스틱은 연소 전에는 검출한계보다 낮은 값이었지만 연소 시(0 m, 3 m) 각각 8.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 6.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 농도가 증가하였다. 톨루엔의 경우 연소 중(0 m, 3 m)인 향초와 인센스 스틱에서 각각 약 2.3배, 3배 상승하였다. 에틸벤젠은 연소 중(0 m, 3 m) 향초와 인센스 스틱에서 약 2.4배, 2.6배 증가하였으며, 자일렌(m-, p-, σ -)은 연소 중(0 m, 3 m)인 향초와 인센스 스틱에서 각각 약 2.3배, 4.7배 증가

Table 3. Particulate matter 2.5 micrometers (PM_{2.5}) measurement results according to scented candle and incense stick usage conditions (unit: µg/m³)

| Measuring distance | Usage status | Scented candle | | | Incense stick | | |
|--------------------|------------------------------|----------------|-------|-------|---------------|---------|-------|
| | | AM | SD | Max | AM | SD | Max |
| 0 m | Before use | 11.6 | 7.2 | 29 | 13.1 | 9.8 | 29 |
| | In use (30 min) | 17.4 | 10.2 | 40 | 1,901.3 | 681.5 | 2,952 |
| | Extinguishment* | 2,365.7 | 957.7 | 4,263 | 1,817.9 | 1,063.2 | 3,917 |
| | Smothering by cap | 13.0 | 4.1 | 21 | - | - | - |
| | 10 minutes after ventilation | 25.5 | 23.4 | 80 | 119.1 | 167.9 | 535 |
| | 20 minutes after ventilation | 19.9 | 17.5 | 60 | 46.1 | 52.1 | 181 |
| | 30 minutes after ventilation | 16.2 | 13.9 | 52 | 22.7 | 18.7 | 81 |
| 3 m | Before use | 11.4 | 8.0 | 29 | 12.4 | 9.7 | 32 |
| | In use (30 min) | 14.5 | 8.7 | 35 | 997.3 | 942.5 | 2,783 |
| | Extinguishment* | 33.5 | 30.5 | 133 | 1,137.7 | 1,037.5 | 2,917 |
| | 10 minutes after ventilation | 23.6 | 17.6 | 60 | 110.8 | 157.1 | 539 |
| | 20 minutes after ventilation | 18.5 | 14.6 | 57 | 45.3 | 46.1 | 155 |
| | 30 minutes after ventilation | 14.7 | 13.0 | 50 | 23.3 | 17.9 | 78 |

AM: Arithmetic mean, SD: Standard division.

*Candle: blow out, Incense stick: rub out.

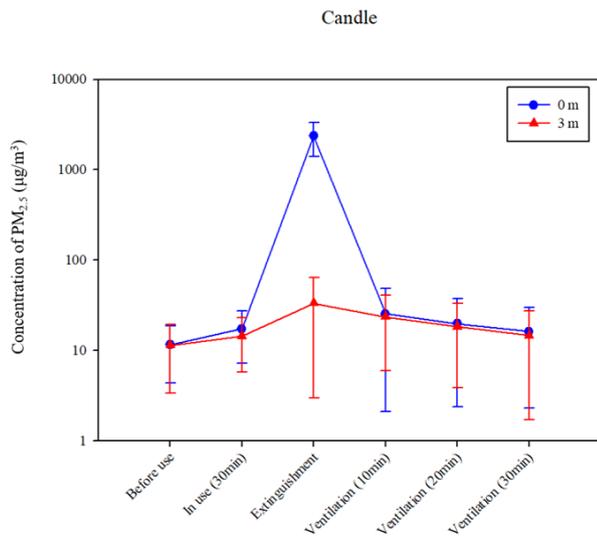


Fig. 2. Comparison of measurement results of particulate matter 2.5 micrometers (PM_{2.5}) of scented candles according to distance (unit: µg/m³)

하였다.

D-리모넨과 벤질아세테이트는 시료 중 하나의 향초에서만 0 m에서 127.7 µg/m³ 과 54.4 µg/m³의 높은 농도로 검출되었다. D-리모넨의 평균은 43.83 µg/m³이고, 벤질아세테이트의 평균은 18.87 µg/m³으로 이는 평균치를 약 2배 이상 넘어선 값이다. 향초의 시료 중 하나에서 이상치가 발생하여 향초의 총

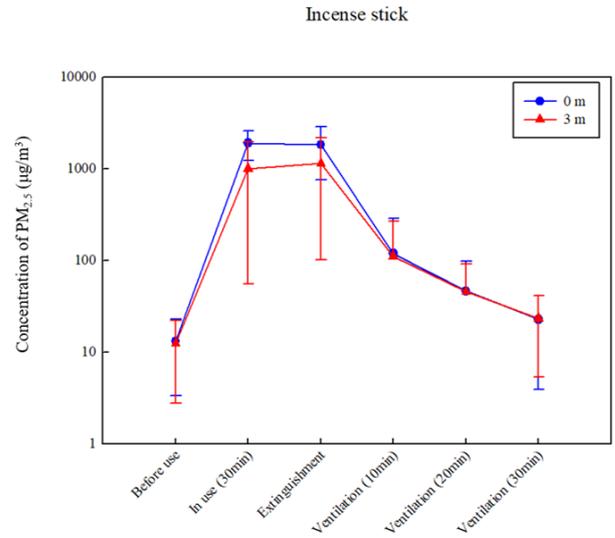


Fig. 3. Comparison of measurement results of particulate matter 2.5 micrometers (PM_{2.5}) of incense stick according to distance (unit: µg/m³)

VOC가 인센스 스틱의 총 VOC보다 높게 나타났다. 벤질아세테이트의 경우 향초에서는 농도가 검출되었지만, 인센스 스틱에서는 모두 LOD보다 낮은 값으로 측정되었다.

또한 시료 내에서 비교적 높은 농도로 검출된 BTEX (벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌)는 각각 환경부 신축공동주택의 실내공기질 권고 기준이 벤젠 30 µg/m³ 이하, 톨루엔 1,000 µg/m³ 이하, 에틸벤젠 360 µg/m³ 이하, 자일렌(m-, p-, o-) 700

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이다. 하지만 본 연구에서는 벤젠 $4.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $11.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (m-, p-)자일렌 $2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, σ -자일렌 $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 권고치보다 낮은 농도가 검출되었다(Table 2).

IV. 고 찰

Kim과 Song (2016)¹⁹⁾은 향초와 미세먼지와 관련된 연구에서 실험조건을 45평형 주거건물에서 향초를 1시간 점화한 후 소화시키는 것으로 설정하였다. 측정된 미세먼지의 입자 직경은 0.1~10 μm 이었다. 본 연구에서 발견한 것과 같이, 향초를 점화하는 동안은 공기질에 변함이 없었지만, 소화 시 미세먼지의 농도가 급격하게 증가하였다. 향초를 소화한 후의 $\text{PM}_{2.5}$ 최고농도는 약 $9 \text{ mg}/\text{m}^3$ 로 본 연구의 결과보다 높은 농도로 측정되었다. 이는 연소 시간이나 측정 공간의 크기 차이가 동일하지 않아 발생한 차이로 생각된다.

Park 등(2021)²⁰⁾ 또한 향초를 11.2 m^2 크기의 침실에서 55분간 측정하였다. 이 연구에서 측정된 향초의 최고 농도는 $2.008 \text{ mg}/\text{m}^3$ 이었다. 향초의 결론 또한 55분의 점화 기간 동안 $\text{PM}_{2.5}$ 의 증가는 미미하였으며, 소화 후 급격하게 농도가 증가되었다고 설명하였다. 본 연구의 결론, Kim과 Song (2016)¹⁹⁾의 결론과 동일하였다.

VOCs의 경우, Lim과 Kim (2015)²¹⁾은 직경 187 mm, 높이 240 mm 크기의 연소실을 제작하여 연구를 진행하였다. VOCs의 채취와 분석에 있어서는 Tenax 흡착관을 사용하였으며, 100 mL/min으로 3 L 채취하였다. 본 연구에서는 0.2 L/min으로 6 L 채취하였다. Lim과 Kim (2015)²¹⁾에서 벤젠은 $1.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $0.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $0.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 측정되었다. 본 연구의 결과 벤젠 $1.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $15.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $4.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 비교했을 때, 본 연구 결과가 더 높게 측정되었으며, 실험 공간이나 제품이 다르기 때문으로 생각된다(Table 4).

본 연구에서는 초미세먼지와 VOCs의 실험 결과를 제시할 때, 환경부의 기준을 비교대상으로 삼았다. 하지만 국외의 실내공기질에 대한 기준은 국내와 다르기 때문에 규제 수준도 달

라질 수 있다. 따라서 본 연구의 결과치를 각각의 기준에 대입해보려 한다.

국내의 실내 공기질 기준에 따르면 $\text{PM}_{2.5}$ 는 일반시설에서 50 (24시간) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 민감시설에서는 35 (24시간) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이다. WHO의 $\text{PM}_{2.5}$ 기준은 25 (24시간) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 10 (연간) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이다. 국내의 기준치가 WHO보다 약 2배 가량 높다. 본 연구에서 인센스 스틱을 사용할 때의 초미세먼지 측정 결과와 비교해보면 노출시간을 고려하더라도 국내의 기준치를 모두 초과하는 수준의 결과가 나온 것을 확인할 수 있다. 반면, 향초의 경우 불어서 끄지 않고 뚜껑을 덮어서 끈다면 사용하는 동안 미세먼지 농도는 국내의 기준치를 모두 만족한다.

VOCs의 경우, WHO의 기준은 에틸벤젠 22,000 (연간) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 톨루엔은 260 (1주) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이며, 국내의 권고 기준은 에틸벤젠 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 톨루엔 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이다. VOCs는 향초와 인센스 스틱 모두 국내의 기준치를 초과하지 않았다.

V. 결 론

본 연구에서는 태우는 생활화학제품인 향초와 인센스 스틱을 사용할 때의 $\text{PM}_{2.5}$ 와 VOCs의 발생량을 측정하였다. 인센스 스틱을 사용할 때에는 국내의 기준치를 초과하는 높은 초미세먼지가 발생하였으나, 향초를 사용할 때 뚜껑을 덮어서 끄는 경우 $\text{PM}_{2.5}$ 발생이 거의 없었다. 인센스 스틱은 사용하고 환기를 진행하는 시간에 따라 초미세먼지의 농도가 감소하였다. 적절한 환기와 제품의 뚜껑을 활용하여 소화를 하는 방법을 통해 $\text{PM}_{2.5}$ 의 농도를 감소시킬 수 있다고 판단된다.

VOCs의 경우 향초와 인센스 스틱 모두 사용하는 동안 BTEX, 에틸아세테이트 등 일부 물질의 농도가 검출되었으나 국내와 WHO의 실내 공기질 기준치 이하였다. 이외의 VOCs 물질 또한 평균적으로는 국내의 실내 공기질 기준치 이하였으나, D-리모넨과 벤질아세테이트의 경우 측정 평균치의 2배 이상으로 농도가 발생한 제품이 존재했다. 이러한 결과는 위해성 측면에서 제품 별 차이가 발생한다는 것을 보여준다. 하지만 본 연구에서 사용한 제품 수가 한정적이었고, 다양한 소비자의 이

Table 4. Comparison of results with other studies

| | $\text{PM}_{2.5}$ | | | VOCs | |
|---|-------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|---|
| | This study | Kim and Song (2016) ¹⁹⁾ | Park et al. (2021) ²⁰⁾ | This study | Lim and Kim (2015) ²¹⁾ |
| Measurement time (unit: minute) | 30 | 60 | 55 | 30 | 30 |
| Peak concentration (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 4,263 | 9,000 | 2,008 | Benzene: 1.13 Toluene: 15.93 Ethyl benzene: 4.60 | Benzene: 1.06 Toluene: 0.18 Ethyl benzene: 0.46 |

용 행태를 대표하기에는 부족하기 때문에 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 생활화학제품 안전관리 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2022002970005).

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

1. Jo WK, Lee JH, Lim HJ, Kwon KD, Jeong WS. Assessment of organic compounds emission from consumer products in an environmental chamber system. *J Korean Soc Atmos Environ.* 2007; 23(E2): 39-46.
2. Jo WK, Shin SH, Kwon GD, Lee JH. Emission estimation and exposure to hazardous gaseous pollutants associated with use of air fresheners indoors. *J Environ Toxicol.* 2009; 24(2): 137-148.
3. Eom YS, Kang HB, Choi DH. The effect of indoor human activities on indoor concentration of size-resolved particles in residential housing unit. *Proc Fall Annu Conf AIK.* 2016; 36(2): 1369-1370.
4. World Health Organization (WHO). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: WHO; 2021.
5. Utell MJ, Frampton MW. Acute health effects of ambient air pollution: the ultrafine particle hypothesis. *J Aerosol Med.* 2000; 13(4): 355-359.
6. Choi JK, Choi IS, Cho KK, Lee SH. Harmfulness of particulate matter in disease progression. *J Life Sci.* 2020; 30(2): 191-201.
7. Shin DC. Health effects of ambient particulate matter. *J Korean Med Assoc.* 2007; 50(2): 175-182.
8. Kim GH, Park SK, Kang JY, Kim JM, Shin EJ, Moon JH, et al. Protective effect of Codium fragile extract on fine dust (PM_{2.5})-induced toxicity in nasal cavity, lung, and brain cells. *Korean J Food Sci Technol.* 2021; 53(2): 223-229.
9. Park J, Lee K, Kim H, Heo J, Jeon K, Lim J, et al. Characteristics of PM_{2.5} organic extracts from Seoul and Beijing on human lung epithelial cells. Paper presented at: Korean Society for Atmospheric

Environment 64th Annual Conference 2021 Proceedings; 2021 Oct 20-22; Jeju, Korea. p. 378.

10. Kim J. Heavy metals in air emission and assessment of human toxicity footprint. *J Korean Soc Environ Eng.* 2021; 43(9): 614-622.
11. Singh A, Kumari A, Fatima L. Beyond aromatherapy: illuminating the underappreciated risks associated with scented candle exposure. *Environ Sci Technol.* 2023; 57(41): 15299-15300.
12. Andersen C, Omelekhina Y, Rasmussen BB, Nygaard Bennekov M, Skov SN, Køcks M, et al. Emissions of soot, PAHs, ultrafine particles, NO_x, and other health relevant compounds from stressed burning of candles in indoor air. *Indoor Air.* 2021; 31(6): 2033-2048.
13. Kim JW, Lee EJ, Lee JH. Analysis of VOCs and cytotoxicity of dye-decolorizing oxidizers. *J Korea Soc Beauty Art.* 2020; 21(2): 201-210.
14. Kim T, Kim MJ, Baek M, Kim SH, Moon J, Jo J, et al. A study on the distribution characteristics of formaldehyde, volatile organic compounds, particulate matter, and airborne bacteria in indoor play centers. *J Environ Anal Health Toxicol.* 2022; 25(4): 117-131.
15. Salthammer T, Gu J, Wientzek S, Harrington R, Thomann S. Measurement and evaluation of gaseous and particulate emissions from burning scented and unscented candles. *Environ Int.* 2021; 155: 106590.
16. Hwang SH, Roh J, Park WM. Evaluation of PM₁₀, CO₂, airborne bacteria, TVOCs, and formaldehyde in facilities for susceptible populations in South Korea. *Environ Pollut.* 2018; 242(Pt A): 700-708.
17. Kesselmeier J, Staudt M. Biogenic volatile organic compounds (VOC): an overview on emission, physiology and ecology. *J Atmos Chem.* 1999; 33(1): 23-88.
18. Kim S, Hong SH, Bong CK, Cho MH. Characterization of air freshener emission: the potential health effects. *J Toxicol Sci.* 2015; 40(5): 535-550.
19. Kim J, Song D. Analysis of fine dust generation by indoor activities in residential building. Paper presented at: Proceedings of the Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea 2016 Winter Annual Conference; 2016 Nov 25; Seoul, Korea. p. 261-264.
20. Park S, Song D, Park S, Choi Y. Particulate matter generation in daily activities and removal effect by ventilation methods in residential building. *Air Qual Atmos Health.* 2021; 14(10): 1665-1680.
21. Lim HJ, Kim MG. Evaluation of the combustion chamber for burning candle and measuring the emission factor of its' combustion products. *Anal Sci Technol.* 2015; 28(3): 236-245.

〈저자정보〉

박은아(학생), 어승연(학생), 오예린(학생),
박나연(박사과정), 이명호(박사과정), 고영림(교수)