

전산유체해석을 통한 디퓨저타입과 패치타입 제품 이용 시 에센셜 오일의 흡입량 예측

정남균
인하공업전문대학 기계공학과

CFD estimation for the amount of inhalation when using diffuser and patch type products of essential oil

Nam-Gyun Jeong
Division of Mechanical Engineering, Inha Technical College

요약 에센셜 오일은 항세균, 항바이러스, 항진균, 항염증, 항암작용 및 항산화에 효과가 있어 기분전환 및 스트레스 완화를 위해 아로마향기요법이나 도포 및 식품첨가 등의 방법을 이용하여 많이 사용되고 있다. 에센셜 오일은 사용방법에 따라 적정 사용량이 권장되는데, 시중에 많이 판매되고 있는 디퓨저타입 제품의 경우는 사용량에 대한 규제가 없어 개발 및 판매가 자유로우나 최근 개발되어 판매되는 패치타입은 새로운 흡입방식이라는 인식 때문에 안전성 규명이 요구되는 상황이므로 패치타입의 제품 사용시 기존 제품과 대비하여 오일의 인체 흡입정도를 예측할 필요가 있다. 본 논문에서는 기존의 디퓨저타입과 패치타입의 제품 사용 시 인체에 흡입되는 오일의 양을 전산유체해석을 통해 예측하고 결과를 비교하였다. 비교결과 패치타입 제품의 경우 초반에 흡입량이 크게 증가했다가 10분이 지난 후에 급격히 감소하는 양상을 보였고, 디퓨저타입의 경우는 초반에는 패치타입보다 누적된 흡입량이 작으나 약 60분 정도의 시간이 지난 후부터는 패치타입보다 많은 양의 오일 증기를 흡입하게 되는 것으로 나타났다.

Abstract Essential oils are effective owing to their antibacterial, antiviral, antifungal, anti-inflammatory, anti-cancer, and antioxidant properties. They are used widely in aromatherapy, application, and food addition to relieve stress. An appropriate amount of essential oil is recommended for use, depending on the method. In the case of diffuser-type products, there is no regulation on the amount of use in development and sales. For the patch-type ones, however, safety should be identified because it is a new way of inhaling. When using patch-type products, it is necessary to estimate the amount of oil inhalation compared to diffuser-type products. In this paper, the amount of oil sucked into the human body using existing diffuser-type and patch-type products was predicted using computational fluid dynamics, and the results were compared. For the patch-type products, the suction amount increased significantly in the beginning and decreased rapidly after 10 minutes. For the diffuser type, the accumulated suction amount was smaller than the patch type in the beginning, but more oil vapor was inhaled after approximately 60 minutes.

Keywords : Essential Oil, Aroma, Mask Patch, Inhalation, Computational Fluid Dynamics

*Corresponding Author : Nam-Gyun Jeong(Inha Technical College)

email: jngtree@naver.com

Received October 18, 2022

Accepted December 7, 2022

Revised November 11, 2022

Published December 31, 2022

1. 서론

에센셜 오일(essential oil)은 기계적인 압착이나 수증기 또는 건식증류법을 이용하여 천연 상태의 식물 재료로부터 얻을 수 있는 향이 나는 휘발성 오일을 일컫는다 [1]. 에센셜 오일은 항세균, 항바이러스, 항진균, 항염증, 항암작용 및 항산화 효과가 있고[2], 에센셜 오일 중의 하나인 라벤더 오일의 경우에는 진통, 진정, 항우울, 원기 촉진 등에 큰 효과가 있어[3] 아로마테라피에 활용되고 있다.

에센셜 오일은 아로마향기요법, 도포, 식품첨가 등의 방법으로 이용이 가능한데, 흔히 이용되는 방법 중의 하나인 아로마향기요법은 에센셜 오일에 디퓨저를 쬐어 오일을 공기 중에 확산시키거나 오일을 손바닥이나 손수건 등에 떨어뜨려 향기를 흡입하는 방법이다. 이러한 아로마향기요법은 뇌 활성화를 통해 정서 및 심리 안정과 집중력 향상 등에 기여하는 것으로 보고되었으며, 혈관건강에도 도움을 줄 수 있는 것으로 알려져 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[4,5].

에센셜 오일은 사용자가 권장 사용량의 범위를 지켜 사용할 때 안전하게 사용될 수 있어 사용방법에 따라 적정 사용량이 권장되는데, 아로마향기요법의 경우는 1회 적정 사용량이나 하루 최대 사용 권장량이 따로 제시되어 있지 않고, 개인의 취향이나 아동의 경우 보호자의 지시에 따르는 정도로만 제시되어 있다[6]. 때문에, 특별한 규제 사항을 적용받지 않는 디퓨저타입 제품의 경우 개발 및 판매에 있어 비교적 자유로운 편이고, 매우 다양한 종류의 상품들이 개발되어 판매되고 있다.

최근 코로나사태로 인해 마스크를 일상생활에서 많은 시간 착용해야하는 상황이 되었고, 입냄새를 비롯한 마스크 안에서 발생하는 각종 악취로 고통받게 되는 문제가 생기게 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 에센셜 오일을 함유한 스티커를 마스크에 부착시켜 향을 흡입하게 하는 아로마 마스크 패치가 개발되어 시중에 판매되기 시작했는데, 새로운 흡입방식이라는 인식으로 환경부로부터 별도의 흡입독성에 대한 위해서 평가를 요청받았고 한국소비자원으로부터 판매 중단을 권고받았다[7]. 이와 같이 새롭게 개발된 아로마 마스크 패치의 안전성 규명이 요구되는 상황에서 제품 사용 시 오일의 인체 흡입량 예측과 기존 제품 대비한 오일의 인체 흡입정도를 비교할 필요성이 대두되었다.

본 논문에서는 전산유체해석을 통하여 아로마 마스크 패치를 사용할 경우 인체에 흡입되는 오일의 양을 예측

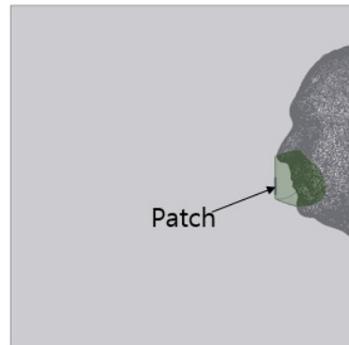
하였고, 디퓨저타입으로 개발되어 사용될 때와 얼마나 차이가 있는지 비교해 보았다. 본 연구는 기존의 에센셜 오일 흡입법에 대한 연구가 대부분 향기 요법이 생리적, 신체적, 심리적 치유효과에 미치는 영향에 대해 진행되었고, 흡입 방식에 따른 인체 흡입량에 대한 연구는 진행되지 않았다는 측면에서 기존의 연구와 차별점이 있고, 흡입량 예측을 위한 전산해석 방법을 제시했다는 점에서 의의가 있다.

2. 본론

2.1 해석형상 및 격자

해석에 사용된 형상은 Fig. 1과 같다. 해석영역을 가로, 세로, 높이가 동일하게 0.5 m로 제한하였으나, 경계면에 압력조건을 부여하였으므로 이 공간은 밀폐된 공간이 아닌 사방이 오픈된 공간으로 가정된 것이다. 아로마 마스크 패치에 대한 해석을 위하여 사람의 코와 입 주위의 영역을 임의의 형상을 갖는 마스크로 구분하고 마스크 위에 가로, 세로의 길이가 20 mm x 25 mm이고 두께가 1 mm인 패치형상을 추가했다. 이 형상은 시중에 판매되었던 아로마 마스크 패치 제품 중 특정 업체의 제품과 동일한 형상이다. 디퓨저 타입에 대한 해석을 위해서는 마스크와 패치 대신 직경과 높이가 50 mm인 에센셜 오일 용기를 해석형상에 추가하였다.

해석은 전체 영역을 고려하지 않고 빠른 해석 진행을 위하여 얼굴형상을 대칭으로 가정한 절반의 영역만 고려하였다. 경계조건은 대칭면에 symmetry 경계 조건을, 사람의 얼굴에 해당되는 면에는 wall 조건, 호흡시 외기가 유입되는 비공부분은 pressure outlet, 그 외 나머지 면에는 pressure inlet 조건을 부여하였다.



(a)

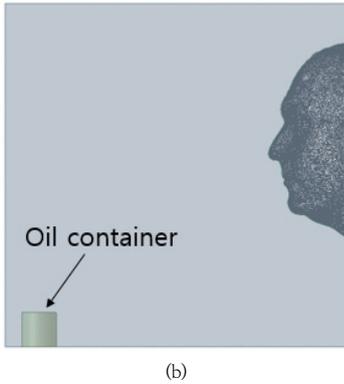


Fig. 1. Geometry
(a) for patch type (b) for diffuser type

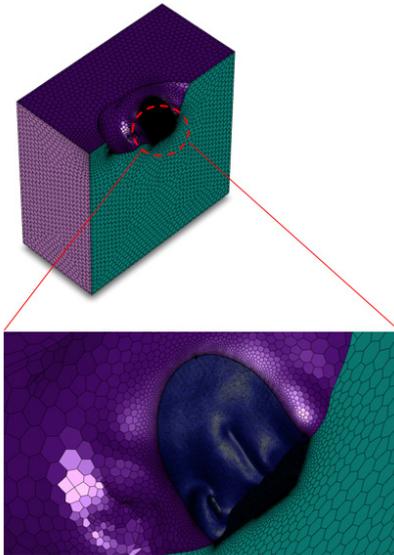


Fig. 2. Grid system for calculation

해석에 사용한 격자는 Fig. 2와 같이 계산의 정확도를 유지하면서 Tetrahedral 격자보다 격자 개수를 대폭 절감할 수 있는 Polyhedral 격자를 사용하였고, 계산 결과에 중요한 영향을 미치는 호흡기 주변에 최대한 조밀한 격자를 생성하였다.

2.2 해석결과

유동해석을 위하여 ANSYS 2020 R2 FLUENT를 이용한 비정상상태(transient state) 해석을 수행하였다[8]. 에센셜오일의 액상과 기상의 이상유동(two-phase flow)현상을 모사하기 위한 Multiphase model로는 Mixture 모델을 사용하였고, 상변화 현상은 evaporation

-condensation Mass Transfer Mechanism을 사용하여 모사하였다.

2.2.1 증발 조건 파악

본 연구를 위한 해석에서는 액상의 오일이 기체 상태로 변하는 증발 현상을 모사해야하므로 이를 위한 해석 조건이 필요하다. 증발량은 동일한 액체라고 할지라도 액체의 공기중 분압에 따른 포화온도나 공기와의 접촉 면적과 같은 여러 가지 요인에 의하여 영향을 받게 되는데, 업체에서 제품에 사용한 오일은 유칼립투스잎오일과 페퍼민트 오일, 레몬오일, 버가못 오일을 혼합한 것으로 해석에 필요한 물성치 확보에 어려움이 있고, 오일이 함침되어 있는 부직포가 증발현상에 미치는 영향 또한 해석에 적용하는데 어려움이 있다.

본 연구에서는 실제 제품의 증발양상과 최대한 일치시키기 위한 해석 조건을 찾기위해 실험을 통해 시간에 따른 오일 증발량을 측정하고 이와 동일한 결과를 보이는 증발조건을 찾아서 해석에 적용코자 하였다. 실험을 위해 실제 아로마 마스크 패치 제품에 사용되는 부직포를 해석에서와 동일한 사이즈로 제한한 후 사용하였고, 부직포에 함침된 에센셜 오일의 양도 제품에서와 동일한 0.0175 g을 함침하여 30분동안 증발시켰다.

증발 테스트 계산은 Fig. 3과 같은 원통형 공간과 가상의 원형패치를 이용하여 수행하였는데, 증발량은 공기에 노출되는 면적에 크게 영향을 받으므로 실제 해석에 사용한 패치와 동일한 면적을 갖도록 원형패치의 크기를 정하였다.

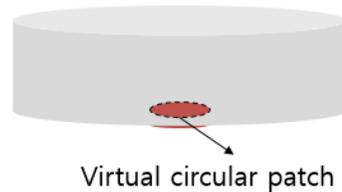


Fig. 3. Geometry for evaporation test

실험에서 사용한 오일량과 동일한 양의 액체를 원형패치에 균일하게 분포시키고, 액체의 포화온도(saturation temperature)와 주변 공기의 온도 등을 변화시켜 가면서 시간에 따른 오일의 증발량과 비교한 결과, 패치 내부에 분포한 액체의 초기온도를 21.5 °C, 액체의 포화온도를 22 °C, 주변의 공기온도를 25 °C로 가정하였을 때 Fig. 4와 같이 실험결과와 일치하는 증발양상을 나타내었다.

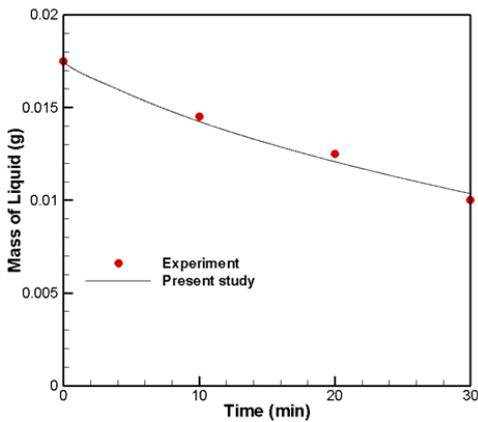


Fig. 4. Results for evaporation test

2.2.2 비공 내의 압력조건 파악

에센셜 오일 증기의 흡입량은 비공을 통한 공기흡입량에 크게 영향을 받고, 해석에서 공기흡입량은 비공과 주변 공기의 압력 차이에 의해 결정된다. 일반적인 성인의 평균 호흡량에 해당되는 공기가 인체로 유입되게 하기 위한 비공 내의 압력조건을 파악하기 위하여 비공 내의 압력조건을 변화시켜 가며 해석을 수행하였다.

일반적으로 안정된 상태의 성인이 1회 호흡할 때 흡입되는 공기량은 400~600 ml 정도이고 분당 호흡 수가 10~25회 정도이므로, 분당 호흡량은 4~15 LPM 정도이다[9]. 본 연구에서는 호흡량을 중간정도인 10 LPM 이라고 가정하였고, 25 °C 공기의 밀도가 1.18 g/L이므로 0.197 g/s의 공기 흡입량에 해당되는 압력조건을 해석을 통해 파악하였는데, Fig. 5와 같이 주변공기와 비공 내의 압력차가 3 Pa이 되어야 함을 알 수 있었다.

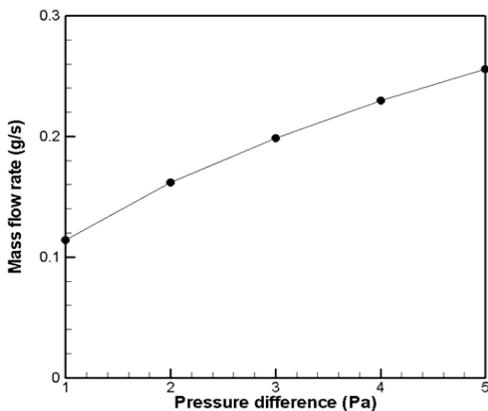


Fig. 5. Breathing quantity according to pressure difference between the surrounding air and the nostrils

2.2.3 인체에 흡입되는 오일량 예측

CFD해석에서 격자 수는 해석을 하고자하는 문제에 따라서 해석의 정확도에 큰 영향을 미칠 수가 있으므로, 본 연구에 있어서도 격자 수에 따른 결과의 차이를 비교하여 격자 수가 해석결과에 미치는 영향을 파악할 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 격자 민감도 테스트를 위해 패치타입에 대하여 239000개와 713000개의 격자를 적용하여 해석을 수행하였으며 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 격자 생성 시 패치 두께를 최소 격자 사이즈의 기준으로 하였고, 두께 방향으로 최소 5개이상의 격자 셀이 분포될 수 있도록 하였다. 239000개의 격자를 사용할 경우 패치 두께 방향으로 6개정도의 격자 셀이 분포되며, 713000개의 격자 사용 시에는 8개정도의 셀이 분포된다.

Fig. 6은 패치타입의 제품을 사용했을 경우 시간에 따른 오일 증기의 인체 흡입량을 나타낸 것인데, 오일 증기는 공기와 혼합된 형태로 흡입되므로 흡입량을 흡입 공기에 대한 질량분율로 나타내었다. 패치타입의 제품을 사용하였을 때 초반에 흡입되는 오일 증기량이 크고 시간에 따라 급격히 감소하다가 10분이 지난 후에는 흡입되는 양이 거의 없음을 알 수 있다. 두 격자 수에 대해 최대값을 비교한 결과 239000개의 격자를 사용했을 경우는 6.57 ppm, 713000개의 격자를 사용했을 경우는 6.71 ppm으로 약 2%의 차이가 발생함을 알 수 있었다.

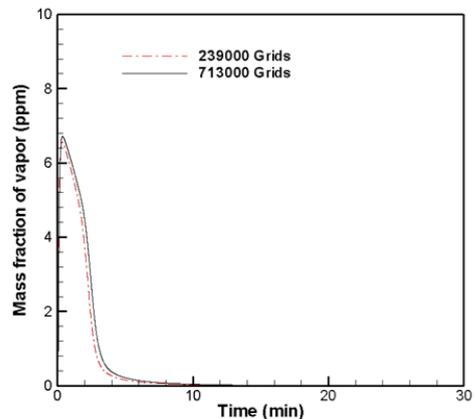


Fig. 6. Amount of oil vapor inhaled into human body when using patch type product

두 배에 가까운 격자 수의 차이에도 결과의 차이가 2%정도 밖에는 나지 않으므로 본 연구에서 계산하고자 하는 문제는 239000개 이상의 격자 수에 대해 민감도가

낮다고 판단할 수 있고, 713000개 이상의 격자는 해석 결과에 유의미한 영향을 미치지 않을 것으로 판단되어 앞으로의 계산에서는 713000개 정도의 격자 수를 이용하여 해석을 수행하였다.

Fig. 7에 얼굴 주변의 유동장을 유선으로 나타내었고 Fig. 8에는 비공 주변에서의 속도장을 벡터를 이용하여 나타내었는데, 주변의 공기가 비공을 통해 인체로 유입되는 양상이 잘 나타나 있다.

패치로부터 증발한 에센셜 오일의 흡입 양상을 알아보기 위해 증기의 질량분율을 Fig. 9에 나타내었는데, 패치에서 증발한 에센셜 오일이 주변으로 확산되어 퍼져 나가다가 마스크 내부로 유입되는 공기와 같이 비공으로 빨려 들어감을 알 수 있다.

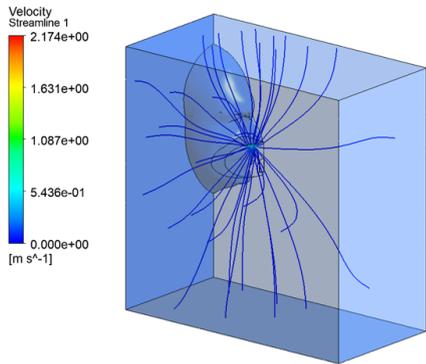


Fig. 7. Results for streamlines of fluid flow

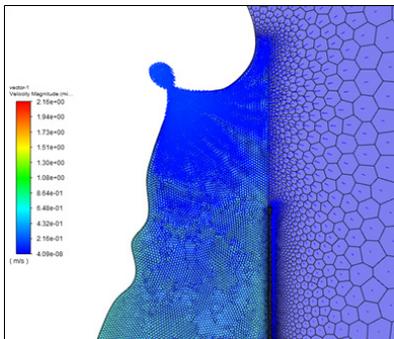


Fig. 8. Velocity vector near nostrils

Fig. 10에는 시간에 따른 패치 내 에센셜 오일의 잔여량을 나타내었다. 패치 주변으로의 증발로 인하여 패치 내 오일량이 초반에 급격히 감소함을 알 수 있고, 약 6분 후에는 거의 남아있지 않음을 알 수 있다. 이러한 패치 내 오일량의 급격한 감소때문에 10분이 지나면 오일 증기가 거의 흡입되지 않는 것으로 생각된다.

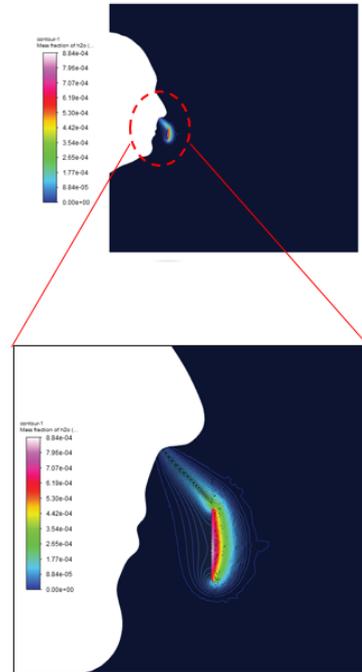


Fig. 9. Mass fraction of oil vapor

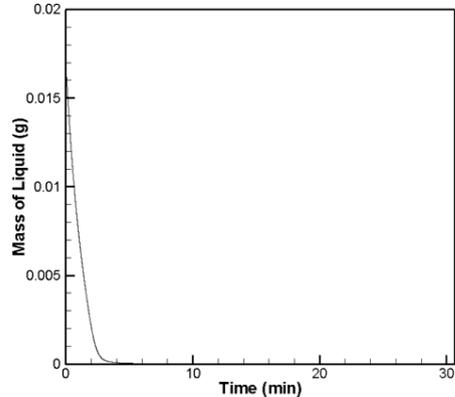


Fig. 10. Amount of essential oil remaining in patch

디퓨저타입에 대한 해석을 수행하였고, 계산결과를 Fig. 11과 12에 나타내었다. Fig. 11은 시간에 따른 오일 용기내 오일의 잔여량을 나타내었는데, 30분이 지난 후 약 2g 정도가 감소함을 알 수 있다. Fig. 12는 시간에 따른 비공에서 흡입되는 증기의 질량분율을 나타내었는데, 오일 용기에서 증발한 오일 증기가 방안으로 확산되는 시간이 있으므로 초반에는 거의 흡입되지 않으나, 약 10분 정도의 시간이 지난 후부터 오일 증기가 얼굴이 있는 위치까지 도달하게 되면서 흡입량이 급격히 증가함을 알 수 있다.

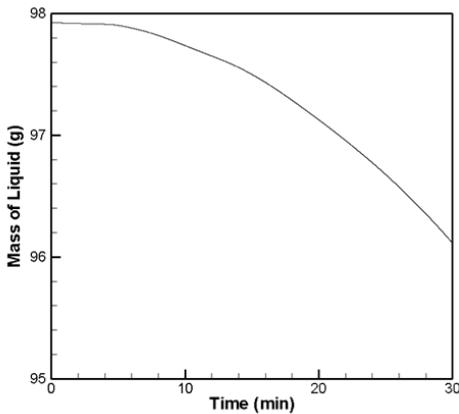


Fig. 11. Amount of essential oil remaining in oil container

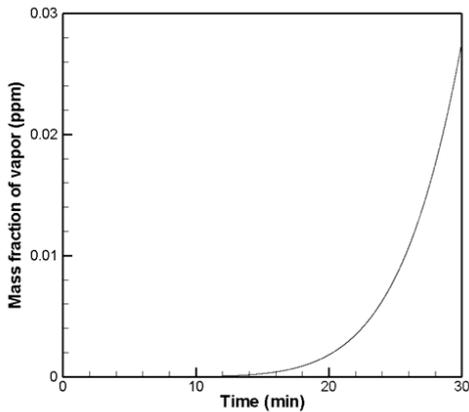


Fig. 12. Amount of oil vapor inhaled into human body when using diffuser type product

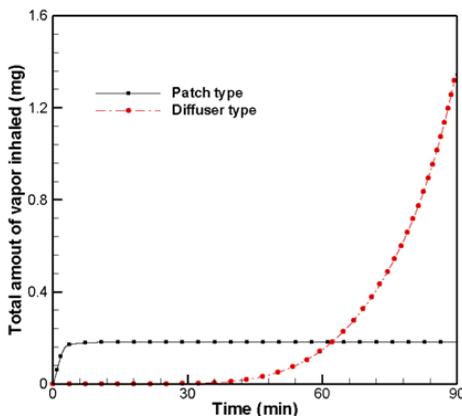


Fig. 13. Cumulative amount of oil vapor inhaled into human body

시간에 따른 에센셜 오일 증기의 누적 흡입량을 비교하기 위해, 비공으로 유입되는 공기의 질량 유량 0.197 g/s과 비공에서의 증기 질량분율을 곱한 오일 증기의 질량유량을 시간에 따라 누적하여 Fig. 13에 나타내었다. 패치타입의 경우는 약 6분 정도가 경과한 후부터는 누적 흡입량에 변화가 거의 없음을 알 수 있고, 총 흡입량은 0.18 mg정도로 예상이 된다.

디퓨저타입의 경우는 초반에는 에센셜 오일 증기가 방안에 확산되어 인체에 도달하는 데 걸리는 시간 때문에 패치타입보다 누적된 흡입량이 작으나, 1시간 정도 지난 후부터는 패치타입보다 훨씬 많은 양의 오일 증기를 흡입하게 될 것으로 예상된다.

3. 결론

본 연구에서는 아로마 마스크 패치 제품을 소비자가 사용할 경우 인체에 흡입되는 오일의 흡입량을 기존 디퓨저타입의 제품과 비교하기 위해서 전산유체역학을 이용한 오일의 증발현상 모사를 수행하였다. 실제 패치 제품과 동일한 증발양상을 해석에 적용하기 위하여 패치 및 용기 내 오일의 초기온도를 21.5 °C, 액체의 포화온도를 22 °C, 주변의 공기온도를 25 °C로 가정하였고, 공기 흡입량을 0.197 g/s라고 가정하여 해석하였다.

해석을 수행한 결과, 패치타입의 제품 사용시 초반에 흡입되는 오일 증기량이 흡입 공기량 대비 최대 6.71 ppm까지 증가했다가, 시간에 따라 급격히 감소하여 10분이 지난 후에는 흡입되는 양이 거의 없음을 알 수 있었고, 오일 증기 총 흡입량은 0.18 mg 정도로 예상이 되었다. 디퓨저타입의 경우 초반에는 패치타입보다 누적된 흡입량이 작으나, 약 60분 정도의 시간이 지난 후부터는 패치타입보다 많은 양의 오일 증기를 흡입하게 될 것으로 예상된다.

그러나 이것은 디퓨저타입에 대한 해석을 수행할 때 방안에 에센셜 오일이 전혀 확산되지 않은 상태를 기준으로 비교한 것이고, 일반적으로 디퓨저타입의 제품은 일회성이 아니라 오랜 기간 동안 오일을 일정 수준으로 확산시킨 상태에서 사용하기 때문에, 디퓨저를 통해 에센셜 오일이 확산된 정도에 따라 패치타입보다 누적 흡입량이 커지기 시작하는 시간은 더 작아질 수 있다.

References

- [1] Y. H. Shin, H. J. Kim, J. Y. Lee, Y. J. Cho, B. J. An, "Major Compound Analysis and Assessment of Natural Essential Oil on Anti-Oxidative and Anti-Microbial Effects", *Journal of Life Science*, Vol.22, No.10, pp.1344-1351, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.5352/JLS.2012.22.10.1344>
- [2] B. Ali, N. A. Al-Wabel, S. Shams, A. Ahamad, S. A. Khan, "Essential oils used in aromatherapy: A systemic review", *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, Vol.5, No.8, pp.601-611, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apitb.2015.05.007>
- [3] Y. R. Chae, S. J. Won, "An Analysis of Aromatherapy Intervention Studies in Nursing", *Journal of Korean Biological Nursing Science*, Vol.15, No.2, pp.54-64, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.7586/ikbns.2013.15.2.54>
- [4] H. J. Gong, K. H. Kim, "Effect of Aroma Therapy using Essential Oils on Brain Activity of Adults", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.23, No.3, pp.395-402, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.3.395>
- [5] D. H. Kim, "Effects of Aromatherapy on Vascular health", *Journal of Advanced Engineering and Technology*, Vol.22, No.10, pp.467-475, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.10.467>
- [6] DOTERRA Holdings LLC, "Essential Oil Safety Guide" <https://media.doterra.com/kr/ko/ebooks/essential-oil-safety-guide.pdf>
- [7] J. H. Park, "[Mask patch controversy]Stop selling because risk is not verified vs Court authorized to sell", *Chemical News*, June 6, 2021.
www.chemicalnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=4063
- [8] Ansys. Ansys|Engineering Simulation Software.
<https://www.ansys.com>
- [9] S. I. Choi, J. K. Kang, W. J. You, "Analysis on the Results of Measured Concentration of the Combustion Gases Considering Respiration Characteristics in Gasoline Pool Fire", *Fire Science and Engineering*, Vol.33, No.4, pp.83-88, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2019.33.4.083>

정 남 균(Nam-Gyun Jeong)

[정회원]



- 2001년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)
- 2007년 3월 ~ 2010년 10월 : 삼성전자 책임연구원
- 2010년 11월 ~ 2015년 2월 : 한국원자력연구원 선임연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 기계공학과 부교수

〈관심분야〉

전산유체역학, 다상유동